

**rijksuniversiteit gent**

**Prof. Dr. W. DE BREUCK**

laboratorium voor  
toegepaste geologie  
en hydrogeologie



**LTG**

geologisch instituut S8  
krijgslaan 281  
B-9000 gent

telefoon 091-22.57.15

86/95

**POMPPROEVEN EN WATERSTAALNAMEN  
IN GESPLETEN VASTE GESTEENTEN  
(OOST- EN WEST-VLAANDEREN)**

Resultaten van de pomp- en  
stijgproef bij de firma  
N.V. DE CLERQ te Deinze

**LTG**

geologisch instituut S8  
krijgslaan 281  
B-9000 gent

telefoon 091-22.57.15

**Opdrachtgever :**

**MINISTERIE VAN ECONOMISCHE ZAKEN  
Belgische Geologische Dienst**

**Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK**

**Studie en verslag : Dr. L. LEBBE  
Lic. M. MAHAUDEN**

**Dokument nr. : TGO 86/75**

**Datum : november 1987**

## INHOUD

Lijst van de figuren	II
Lijst van tabellen	IV
1. Inleiding	1
2. Lokalisatie van de pompproefsite	1
3. Stratigrafische, litologische en hydrogeologische bouw ter hoogte van de pompproefsite	4
4. Veldwerkzaamheden	5
5. Interpretatie van de pompproef volgens de klassieke grafische methodes	6
5.1. Interpretatie volgens Theis	6
5.2. Resultaten	6
5.3. Interpretatie volgens Jacob	10
5.4. Resultaten	10
5.5. Besluit	13
6. Interpretatie van de pompproef door middel van het invers model	13
6.1. Schematisering van het grondwaterreservoir in het model	13
6.2. Werkwijze van het invers model	14
6.3. Interpretatie van de pompproef door middel van het invers model waarbij men een isotrope ge- deeltelijk afgesloten watervoerende laag ver- onderstelt	16
6.3.1. Theoretische beschouwingen	16
6.3.2. Resultaten	17
6.3.3. Besluit	18
6.4. Interpretatie van de pompproef door middel van het invers model waarbij men een anisotrope ge- deeltelijk afgesloten laag veronderstelt	24
6.4.1. Theoretische beschouwingen	24
6.4.2. Resultaten	27
6.4.3. Besluit	38
7. Interpretatie van de stijgproef	42
Bijlagen	45
Referenties	53

## LIJST VAN DE FIGUREN

- Fig. 1 : Ligging van de pompproefsite.
- Fig. 2 : Ligging van de putten en de bedrijfsgebouwen van de firma DE CLERCQ N.V.
- Fig. 3 : Tijd-verlagingskurven van de pompput en peilputten 1 en 2 (methode van THEIS)
- Fig. 4 : Tijd-verlagingskurve van de pompput (methode van JACOB)
- Fig. 5 : Tijd-verlagingskurven van de peilputten 1 en 2 (methode van JACOB)
- Fig. 6 : Litologische doorsnede en schematisatie van het grondwaterreservoir in het numerisch model.
- Fig. 7 : De waargenomen (kruisjes) en berekende verlaging (volle lijnen) in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken waarbij men een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag veronderstelt.
- Fig. 8 : Betrouwbaarheidsellipsen van de hydraulische parameters  $kD$  (doorlaatvermogen) en  $S$  (elastische bergingscoëfficiënt) afgeleid bij veronderstelling van een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.
- Fig. 9 : Hoofdrichtingen  $x$  (grootste doorlaatvermogen) en  $y$  (kleinste doorlaatvermogen) van de best passende oplossing waarbij alle waargenomen verlagingen in rekening gebracht worden te samen met een ellips van gelijke verlaging rond de pompput.



Fig. 10 : Aanduiding van de zones X en Y waarbinnen respectievelijk de hoofdrichting x en y voorkomen met een waarschijnlijkheid van 98 % en van de zone Z waarbinnen de hoofdrichtingen niet kunnen voorkomen.

Fig. 11 : De waargenomen (kruisjes) en berekende verlaging (volle lijnen) in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken waarbij men een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag veronderstelt.

Fig. 12 : Betrouwbaarheidsellipsen van de hydraulische parameters,  $kD$  (doorlaatvermogen) en  $S$  (elastische bergingscoëfficiënt) afgeleid bij veronderstelling van een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.

Fig. 13 : Betrouwbaarheidsellipsen van de hydraulische parameters,  $kD$  (doorlaatvermogen)  $S$  (elastische bergingscoëfficiënt) en  $c$  (hydraulische weerstand) bij veronderstelling van een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag. Alleen de verlaging in peilput 1 is in rekening gebracht worden.

Fig. 14 : Restverlagingskurve van de peilput 1.

Fig. 15 : Restverlagingskurven van de pompput en van de peilput 2.

**LIJST VAN TABELLEN**

- Tabel 1 : Kenmerken en maaiveldhoogte van de putten gebruikt voor de pomp- en stijgproef.
- Tabel 2 : Waargenomen verlagingen tijdens de pompproef.
- Tabel 3 : Restverlagingen tijdens de stijgproef
- Tabel 4 : Vergelijking van de waargenomen en berekende verlagingen bij veronderstelling dat gepompt wordt op een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.
- Tabel 5 : Berekende waarden voor de anisotropie, de schijnbare afstanden  $r'_{n1}$  en  $r'_{n2}$  en de elastische bergingscoëfficiënt  $S$  voor de verschillende hoeken  $\theta$  die de hoofdrichting  $x$  met het grootste doorlaatvermogen vormt met de richting pompput-peilput 1.
- Tabel 6 : Vergelijking van de waargenomen en berekende verlagingen bij veronderstelling dat gepompt wordt op een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag; de aangeduide afstanden van peilput 1 en peilput 2 komen overeen met de schijnbare afstanden  $r'_{n1}$  en  $r'_{n2}$ .
- Tabel 7 : Vergelijking van de waargenomen en de berekende verlagingen bij veronderstelling dat gepompt wordt op een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag waarbij alleen de gegevens van peilput 1 in aanmerking genomen worden.
- Tabel 8 : Doorlaatvermogen afgeleid uit de stijgproef.

## 1. INLEIDING

In het bestek van de opdracht ons toevertrouwd op 22 april 1987 door de heer Minister van Economische Zaken (briefkenmerk 8.P/86/12H/131 - A3/11427) werd in juli 1987 door het Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie van de Rijksuniversiteit Gent een pomp- en stijgproef uitgevoerd te Deinze. Deze studie, opgedragen door de Heer Inspecteur-Generaal van de Belgische Geologische Dienst bij schrijven van 25 juni 1987, gebeurde in onderaanneming van de firma SMET-DB N.V. te Dessel.

## 2. LOKALISATIE VAN DE POMPPROEFSITE

De pomp- en stijgproef werden uitgevoerd bij de firma DE CLERCQ N.V. te Deinze. De bedrijfsgebouwen van deze firma, actief in de textielsektor (weverijen), bevinden zich ongeveer 1400 m ten zuidoosten van de stadskern van Deinze aan de Poelstraat (fig. 1). De firma beschikt over drie winningsputten in de krijt- en sokkel afzettingen; hun ligging is aangegeven op fig. 2. Ze werden als pomp- (PP) en peilputten (P1 en P2) gebruikt bij deze studie. In tabel 1 zijn de kenmerken en de maaiveldhoogte (volgens de topografische kaart van het N.G.I. op 1 : 10000) aangegeven. De konstruktie van de putten is in bijlage ingesloten.

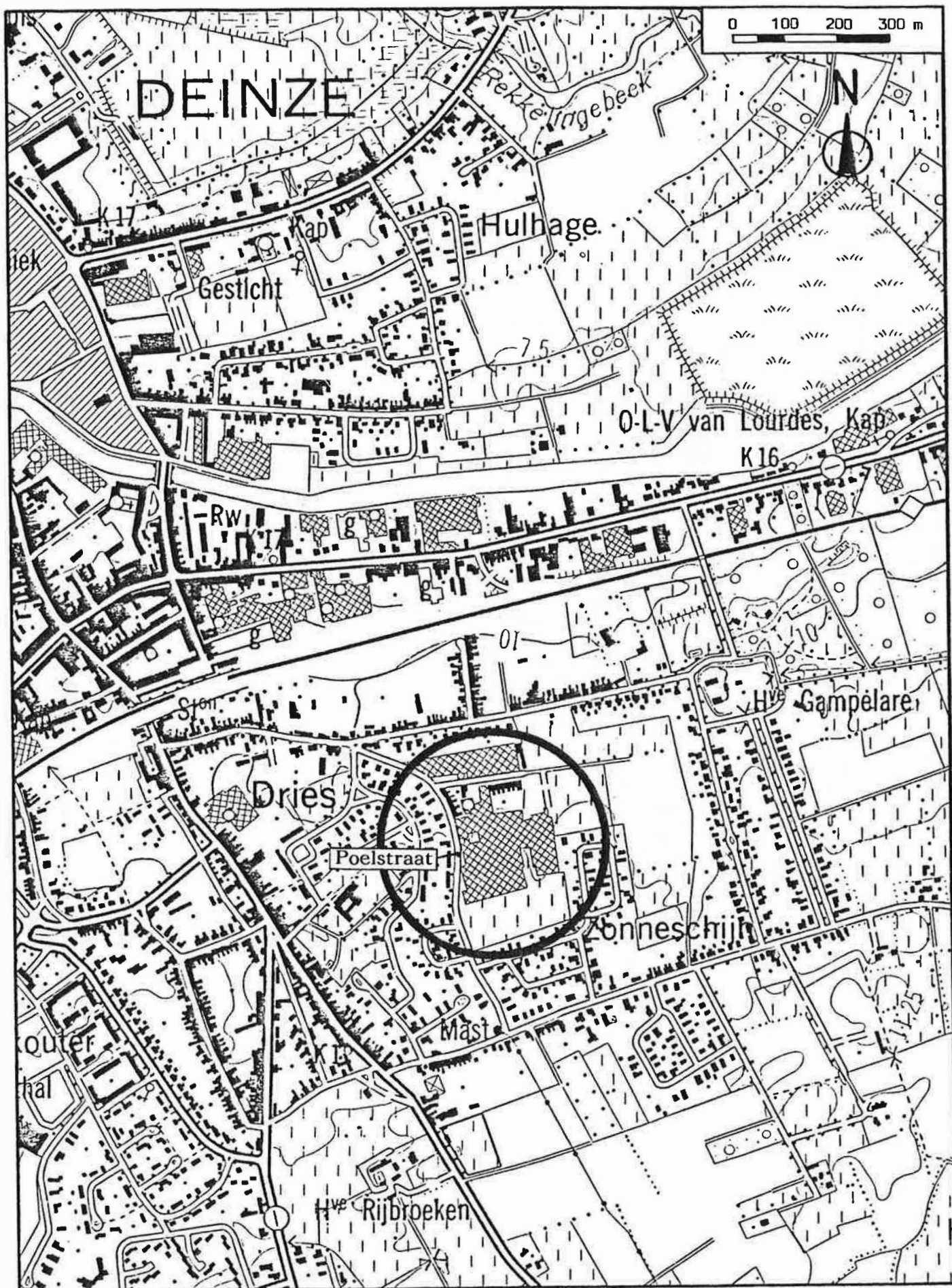


Fig. 1 - Ligging van de pompproefsite.

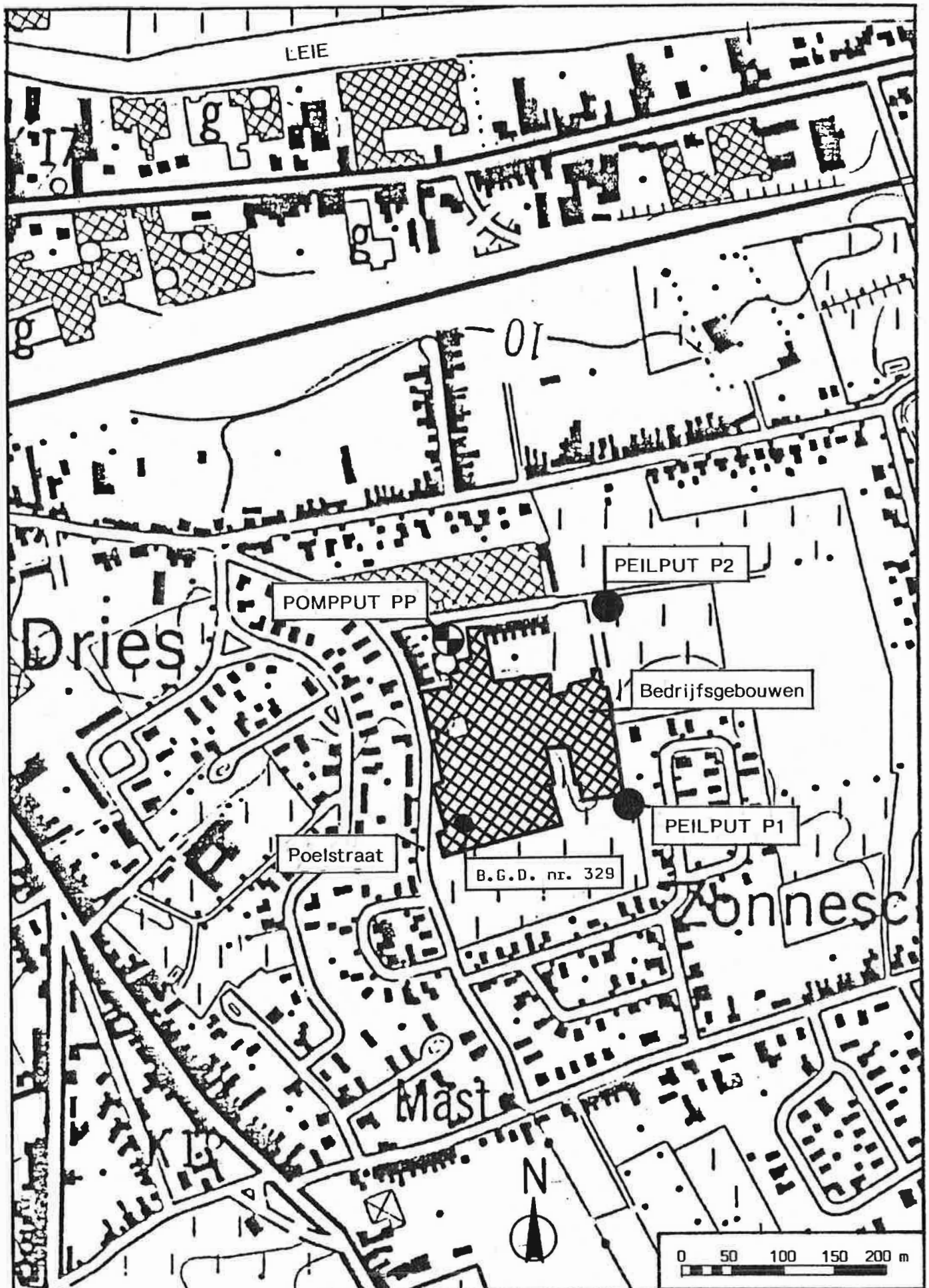


Fig. 2 - Ligging van de putten en de bedrijfsgebouwen van de firma DE CLERQ N.V.

Tabel 1 : Kenmerken en maaiveldhoogte van de putten gebruikt voor de pomp- en stijgproef.

Dossier-nummer B.G.D. Blad 69E Deinze	Datum van uitvoering	Benaming in bestek pomp- en stijg- proef	Z (in m TAW) <sup>1</sup>
330(I)	1967	pompput (PP)	+ 10
402(I/d)	1978	peilput 1 (P1)	+ 10,5
404(I/d)	1983	peilput 2 (P2)	+ 11

### 3. STRATIGRAFISCHE-, LITOLOGISCHE EN HYDROGEOLOGISCHE BOUW TER HOOGTE VAN DE POMPPROEFSITE

Uit de boorstaten<sup>2</sup> van vier putten (fig. 2) en de studie van R. LEGRAND (1968) kan de stratigrafische-, litologische en hydrogeologische bouw ter hoogte van de pompproefsite worden afgeleid. Van onder naar boven onderscheidt men de volgende lagen :

- primaire sokkelgesteenten behorend tot het Cambrium. De top van deze gesteenten komt voor op 180 m diepte t.t.z. op het peil - 169,5. Het betreft schalies met interkallaties van zandsteen en kwarts. Deze gesteenten zijn bovenaan verweerd en gespleten.
- sekundaire deklagen van Krijt ouderdom. De dikte van deze afzettingen varieert van 17 m (pompput) tot 10 m (peilputten). Het betreft wit krijt.

---

<sup>1</sup> Alle peilen voorkomend in dit verslag zijn aangegeven in m T.A.W.

<sup>2</sup> De boorstaten zijn in bijlage 1 samengebracht. Het betreft de nrs. 329, 330 (I), 402 (I/d) en 404 (I/d) plaat 69E DEINZE uit de archieven van de Belgisch Geologische Dienst. Nr. 329 betreft een put geboord in 1965, die echter niet meer terug te vinden is.

- tertiaire eocene afzettingen met name de Formatie van Landen en de Formatie van Ieper (Klei van Vlaanderen). De Formatie van Landen bestaat uit een 17 m dikke zeer harde klei onderaan met daarop 29 m kleihoudend fijn zand. De Formatie van Ieper is vertegenwoordigd door het Lid van Vlaanderen namelijk een 102 m dikke kleilaag. De kwartaire afzettingen rustend op deze klei zijn ca. 22 m dik en voornamelijk zandig. De watertafel bevindt zich op ca. 1,5 m onder het maaiveld.

De stratigrafische-litologische lagenopvolging laat ons toe de volgende hydrogeologische bouw te schetsen. Van onder naar boven zijn drie doorlatende lagen te onderscheiden :

- laag 1 : gevormd door de gespleten topzone van de primaire sokkelgesteenten en de krijtsedimenten.
- laag 2 : bestaande uit 29 m kleihoudend fijn zand van de Formatie van Landen.
- laag 3 : bestaande uit ca. 22 m kwartair zand.

Deze doorlatende lagen zijn onderling van elkaar gescheiden door zeer slecht doorlatende lagen :

- tussen lagen 1 en 2 een 17 m dikke harde kleilaag van de Formatie van Landen.
- tussen lagen 2 en 3 een 102 m dikke kleilaag van de Formatie van Ieper (Klei van Vlaanderen).

#### 4. VELDWERKZAAMHEDEN

De pomp- en stijgproef werden uitgevoerd op 14 en 15 juli 1987. De afpompskurve werd opgenomen van 14 juli om 10h30 tot 15 juli om 12h10. Tijdens de pompproef werd gepompt met een konstant debiet van 12 m<sup>3</sup>/h of 288 m<sup>3</sup>/d. De verlaging van de stijghoogte werd waargenomen in de pompput en beide peilputten. Deze zijn gelegen op 255 m (P1) ten N 129°40' E en

165 m (P2) ten N 76°10' E van de pompput (PP)<sup>3</sup>.

De stijgkurve werd opgenomen van 15 juli om 12h10 tot 15 juli om 16h30.

De waarneming van de waterpeilen gebeurde met behulp van elektrische peilmeters, tijdsintervallen werden opgemeten met kronometers. Het debiet werd gemeten met een geijkte teller die in de persleiding van het bedrijf is opgenomen.

De waargenomen verlagingen gedurende de pompproef zijn weergegeven in tabel 2. De restverlagingen gemeten tijdens de stijgproef zijn opgenomen in tabel 3.

## 5. INTERPRETATIE VAN DE POMPPROEF VOLGENS DE KLASSIEKE GRAFISCHE METHODES

### 5.1. INTERPRETATIE VOLGENS THEIS

De methode van THEIS (1935) laat toe, voor een afgesloten watervoerende laag in het geval van niet permanente stroming, het doorlaatvermogen en de bergingscoëfficiënt te bepalen. In fig. 3 zijn de tijd-verlagingsgrafieken voor de pompput en de twee peilputten aangegeven op dubbel logaritmisch papier.

### 5.2. RESULTATEN

Pompput :

$$kD = \frac{288 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1}{4 \cdot \pi \cdot 7,8 \cdot 10^{-1} \text{ m}} = \underline{29,4 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$S = \frac{4 \cdot 29,4 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 5 \text{ min} \cdot 10^{-3}}{(0,249 \text{ m})^2 \cdot 1440 \text{ min}/\text{d}} = \underline{6,6 \cdot 10^{-3}}$$

Peilput 1 :

$$kD = \frac{288 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 1}{4 \cdot \pi \cdot 5,5 \cdot 10^{-1} \text{ m}} = \underline{41,7 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$S = \frac{4 \cdot 41,7 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 2,05 \cdot 10^2 \text{ min} \cdot 10^{-1}}{(255 \text{ m})^2 \cdot 1440 \text{ min}/\text{d}} = \underline{3,6 \cdot 10^{-5}}$$

---

<sup>3</sup> De richting NO°E komt overeen met de y-as van de Lambert coördinaten. De pompput valt samen met de oorsprong van het assenstelsel.

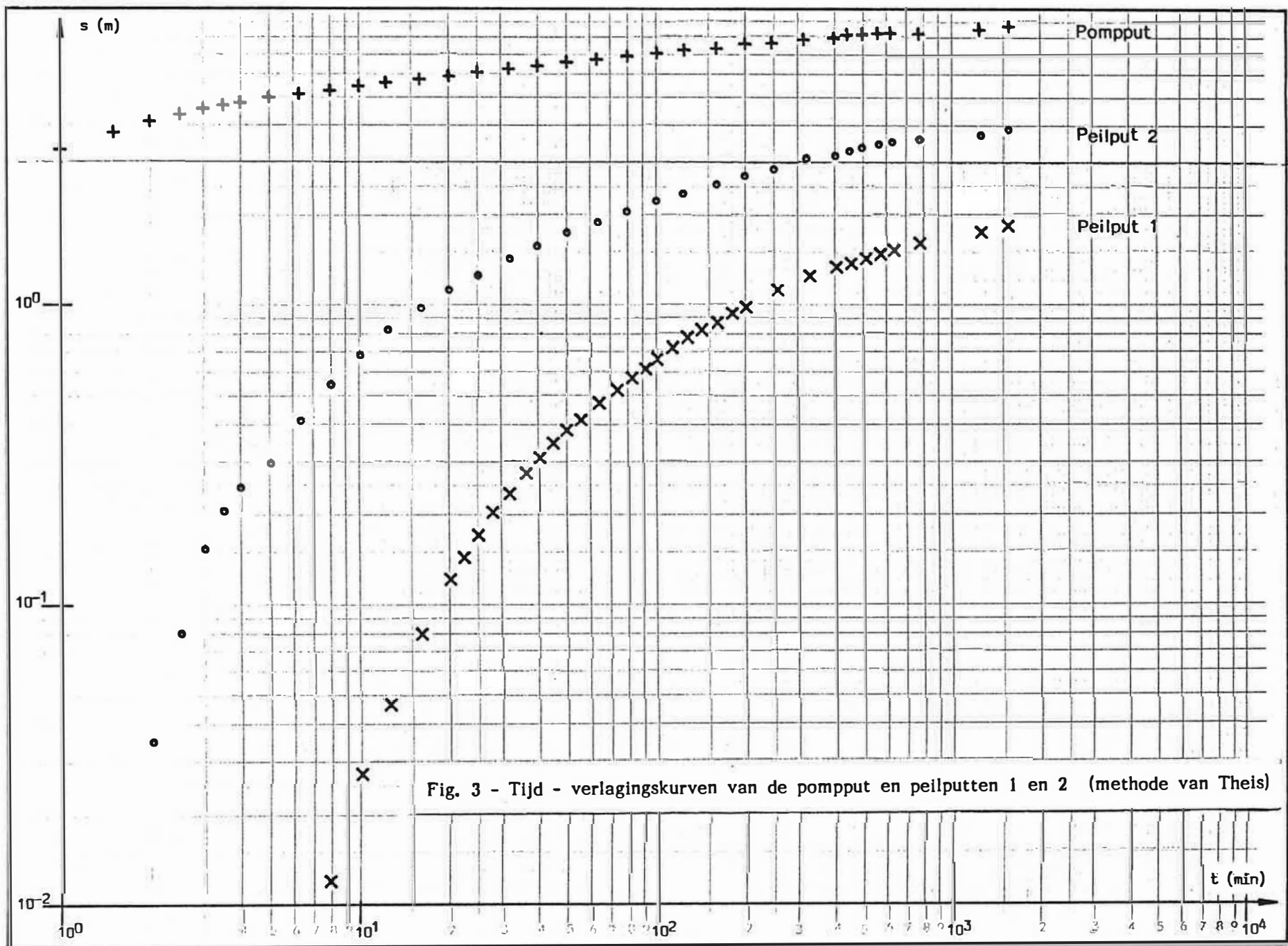


Tabel 2 : Waargenomen verlagingen tijdens pompbeurt

P1		P2		PP	
Tijd (min.)	verlaging (m)	Tijd (min.)	verlaging (m)	Tijd (min.)	verlaging (m)
8	0,012	2	0,035	1	3,35
10	0,027	2,5	0,080	1,5	3,80
12,5	0,046	3	0,152	2	4,14
16	0,080	3,5	0,205	2,5	4,36
20	0,124	4	0,248	3	4,53
22,5	0,148	5	0,297	3,5	4,67
25	0,174	6,33	0,412	4	4,77
28	0,204	8	0,540	5	4,95
32	0,237	10	0,675	6,33	5,10
36	0,279	12,5	0,820	8	5,27
40	0,307	16	0,967	10	5,41
45	0,348	20	1,117	12,5	5,56
50	0,383	25	1,267	16	5,74
56	0,415	32	1,420	20	5,90
63	0,472	40	1,587	25	6,06
73	0,524	50	1,753	32	6,25
83	0,576	63	1,897	40	6,41
91	0,617	80	2,063	50	6,575
100	0,659	100	2,229	63	6,70
113	0,719	125	2,390	80	6,89
126	0,767	160	2,545	100	7,06
140	0,818	200	2,715	125	7,20
160	0,873	250	2,869	160	7,37
180	0,931	320	3,025	200	7,535
200	0,984	400	3,178	245	7,68
255	1,106	450	3,321	315	7,835
325	1,227	500	3,385	395	7,99
405	1,337	565	3,445	440	8,035
455	1,382	622	3,507	495	8,108
505	1,431	775	3,562	560	8,158
570	1,490	1250	3,670	620	8,222
630	1,525	1540	3,850	765	8,320
782	1,617			1245	8,505
1255	1,760			1540	8,655
1540	1,829				

Tabel 3 : Waargenomen restverlagingen tijdens de stijgproef

P1		P2		PP	
Tijd (min.)	restverlaging (m)	Tijd (min.)	restverlaging (m)	Tijd (min.)	restverlaging (m)
4	1,828	1	3,911	0,5	6,46
5	1,827	1,5	3,875	1	5,63
6,33	1,824	2	3,820	1,5	4,69
8	1,812	2,5	3,780	2	4,43
10	1,797	3	3,728	7,33	3,685
12,5	1,773	3,5	3,663	8	3,60
16	1,734	4	3,614	9,5	3,475
18	1,712	5	3,523	12,5	3,27
20	1,686	6,33	3,386	16	3,08
22,5	1,656	8	3,256	20	2,91
25	1,634	10	3,116	25	2,74
28	1,596	12,5	2,965	32	2,531
32	1,552	16	2,804	40	2,442
36	1,511	20	2,654	50	2,152
40	1,473	25	2,493	63	1,955
45	1,427	32	2,313	80	1,753
59	1,313	40	2,148	100	1,565
64	1,281	50	1,975	125	1,375
71	1,232	63	1,800	155	1,195
80	1,176	80	1,608	195	1,001
90	1,118	100	1,440	241	0,827
103	1,047	125	1,264		
114	0,994	159	1,070		
125	0,942	200	0,891		
165	0,778	253	0,702		
205	0,651				
262	0,500				



Peilput 2 :

$$kD = \frac{288 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 10^{-1}}{4 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = \underline{28,6 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$S = \frac{4 \cdot 28,6 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 3,2 \cdot 10^1 \text{ min} \cdot 10^{-1}}{(165 \text{ m})^2 \cdot 1440 \text{ min}/\text{d}} = \underline{9,4 \cdot 10^{-6}}$$

### 5.3. INTERPRETATIE VOLGENS JACOB

De methode van JACOB (COOPER en JACOB, 1946) die ook steunt op de THEIS formule laat eveneens toe voor een afgesloten watervoerende laag, in het geval van niet permanente stroming, het doorlaatvermogen en de bergingscoëfficiënt te bepalen. In fig. 4 en 5 zijn de tijds-verlagingsgrafieken voor de pompput en de twee peilputten aangegeven op half-logaritmisch papier.

### 5.4. RESULTATEN

Pompput :

$$kD = \frac{2,3 \cdot 288 \text{ m}^3/\text{d}}{4 \cdot \pi \cdot 1,6 \text{ m}} = \underline{32,9 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$S = \frac{2,25 \cdot 32,9 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 0,0042 \text{ min}}{(0,249 \text{ m})^2 \cdot 1440 \text{ min}/\text{d}} = \underline{3,5 \cdot 10^{-3}}$$

Peilput 1 :

$$kD = \frac{2,3 \cdot 288 \text{ m}^3/\text{d}}{4 \cdot \pi \cdot 1,1 \text{ m}} = \underline{47,9 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$S = \frac{2,25 \cdot 47,9 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 25,5 \text{ min}}{(255 \text{ m})^2 \cdot 1440 \text{ min}/\text{d}} = \underline{2,9 \cdot 10^{-5}}$$

Peilput 2 :

$$kD = \frac{2,3 \cdot 288 \text{ m}^3/\text{d}}{4 \cdot \pi \cdot 1,56 \text{ m}} = \underline{33,8 \text{ m}^2/\text{d}}$$

$$S = \frac{2,25 \cdot 33,8 \text{ m}^2/\text{d} \cdot 3,8 \text{ min}}{(165 \text{ m})^2 \cdot 1440 \text{ min}/\text{d}} = \underline{7,4 \cdot 10^{-6}}$$

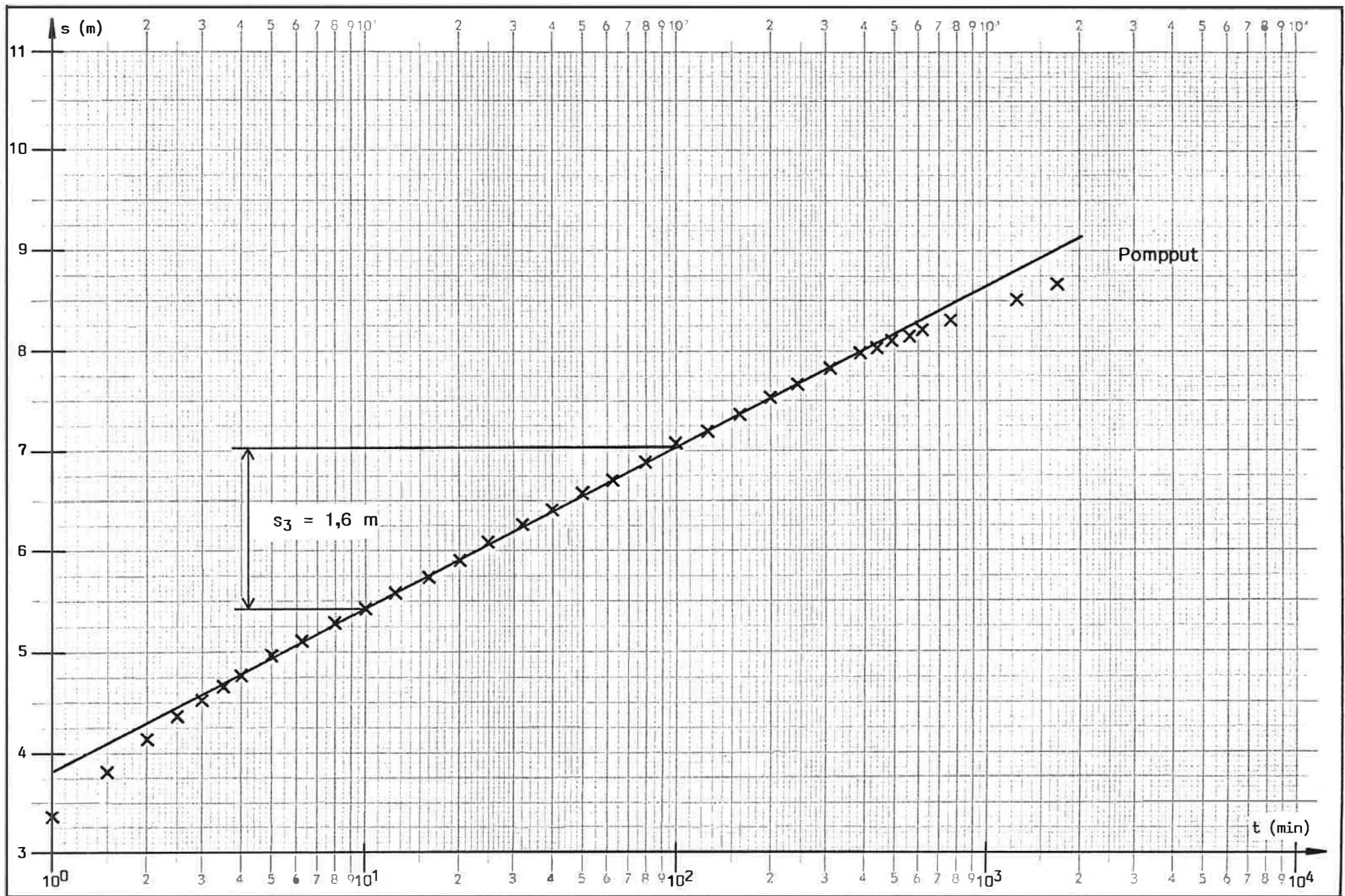


Fig. 4 - Tijd - verlagingsskurve van de pompput (methode van JACOB).

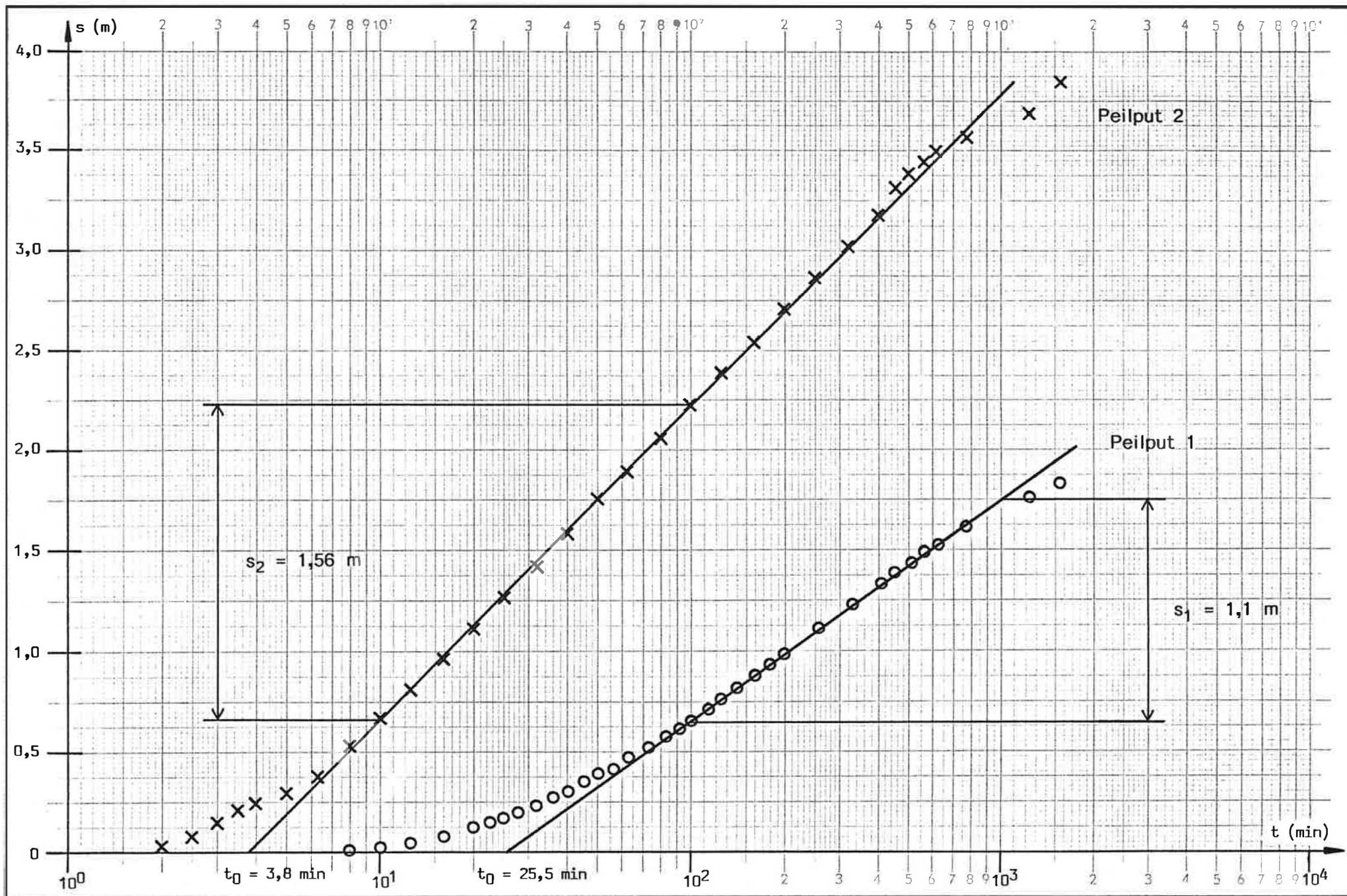


Fig. 5 - Tijd - verlagingskurven van de peilputten 1 en 2 (methode van JACOB).



## 5.5. BESLUIT

Uit de klassieke interpretatiemethoden volgens THEIS en JACOB leiden we devolgende gemiddelde waarden af :

doorlaatvermogen $kD$ :	voor de pompput	: $31,2 \text{ m}^2/\text{d}$
	voor peilput 1	: $44,8 \text{ m}^2/\text{d}$
	voor peilput 2	: $31,2 \text{ m}^2/\text{d}$
bergingscoëfficiënt $S$ :	voor de pompput	: $5,1 \cdot 10^{-3}$
	voor peilput 1	: $3,3 \cdot 10^{-5}$
	voor peilput 2	: $8,4 \cdot 10^{-6}$

Hieruit volgt dat :

- De waarden bekomen voor het doorlaatvermogen  $kD$  en de bergingscoëfficiënt  $S$  verschillen al naargelang van de afstand tussen de pompput en de betrokken peilput.
- Enkel hydraulische parameters van de aangepompte laag kunnen bepaald worden.

Deze onnauwkeurigheden zijn inherent aan de grafische interpretatiemethoden aangezien een aantal vereenvoudigingen dienen te worden aangenomen. Hieraan kan verholpen worden door het grondwaterreservoir na te bootsen met een mathematisch model.

## 6. INTERPRETATIE VAN DE POMPPROEF DOOR MIDDEL VAN HET INVERS MODEL

### 6.1. SCHEMATISERING VAN HET GRONDWATERRESERVOIR IN HET MODEL

In het model wordt het grondwaterreservoir geschematiseerd in drie lagen. Deze komen overeen met de doorlatende lagen (zie 3). In deze lagen wordt uitsluitend horizontale stroming verondersteld. De zeer slecht doorlatende lagen worden vervangen door horizonten waardoor men uitsluitend verticale

grondwaterstroming veronderstelt. De schematisering van de hydrogeologische bouw van het model is weergegeven in fig. 6. De dikte van laag 1 (10 m) stemt overeen met de lengte van het filter in de peilputten.

In het model wordt iedere laag onderverdeeld in een aantal coaxiale ringen met als gemeenschappelijke as de as van de pompput. De binnen- en buitenstralen van de coaxiale ringen vermeerderen logaritmisch. Het aantal ringen wordt voldoende groot gekozen zodat in de buitenste ringen van iedere laag geen verlaging ten gevolge van de pumping optreedt.

Elke laag wordt gekenmerkt door een horizontale doorlatendheid  $k^h$  en een specifieke elastische berging  $S'_A$ . Tussen twee lagen beschouwt men een hydraulische weerstand  $c$ . Laag 1 wordt onderaan begrensd door een ondoorlatend substraat, laag 3 wordt bovenaan begrensd door de watertafel.

## 6.2. WERKWIJZE VAN HET INVERS MODEL

Voor een gegeven hydrogeologische bouw bepaalt het invers model de hydraulische parameters waarbij de berekende verlagingen ten gevolge van het opgepompte debiet zo goed mogelijk overeenstemmen met de waargenomen verlagingen.

Eerst worden een stel hydraulische parameters voor het geschematiseerde grondwaterreservoir bepaald. Dit gebeurt zowel door de klassieke grafische interpretatiemethoden als door ervaring. Vervolgens berekent men voor de aldus bepaalde waarden, door middel van een eindig-verschil axiaal-symmetrisch model, de door de pompproef teweeggebrachte verlaging. Vervolgens wordt de gevoeligheid van de verlagingen berekend tegenover de verschillende hydraulische parameters. Met behulp van de verschillen tussen de waargenomen en de berekende verlaging en met de berekende gevoeligheden worden de hydraulische parameters aangepast tot wanneer de som van het kwadraat der verschillen niet meer betekenisvol afneemt.



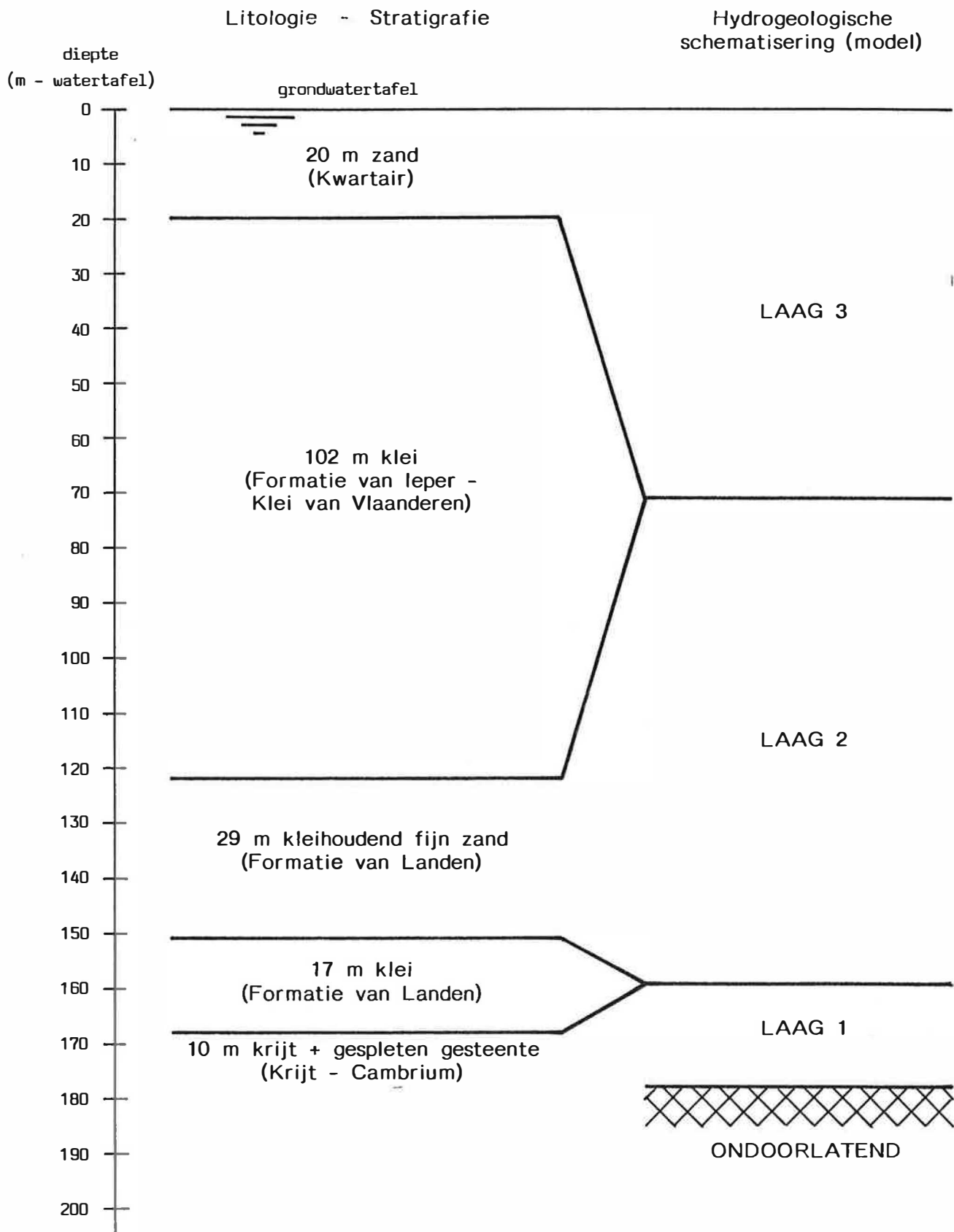


Fig. 6 - Litologische doorsnede en schematisatie van het grondwaterreservoir in het numerische model.

De nauwkeurigheid van de verkregen waarden van de hydraulische parameters wordt dan afgeleid aan de hand van de gevoeligheden en van de overblijvende verschillen.

### 6.3. INTERPRETATIE VAN DE POMPPROEF DOOR MIDDEL VAN HET INVERS MODEL WAARBIJ MEN EEN ISOTROPE GEDEELTELIJK AFGESLOTEN WATERVOERENDE LAAG VERONDERSTELT

#### 6.3.1. Theoretische beschouwingen

De aangepompte laag wordt verondersteld als zijnde homogeen, isotroop, poreus en van een konstante dikte over het volledige gebied dat door de pompproef beïnvloed wordt. Men neemt dus aan dat de lijnen van gelijke stijghoogte op ieder moment verlopen zoals concentrische cirkels omheen de pompput. De verlaging,  $s$ , in een isotrope gedeeltelijk afgesloten water voerende laag wordt gegeven door de formule van HANTUSH & JACOB (1955) :

$$s = Q.W(u, r/L)/4\pi kD \quad (1)$$

waarbij  $Q$  : het opgepompte debiet is  
 $kD$  : het doorlaatvermogen van de aangepompte laag is.  
 $W(u, r/L)$  : de putfunctie van de gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag is.

$u = r^2 S / 4kDt$   
met  $r$  : de afstand tot de pompput.  
 $S$  : de elastische bergingscoëfficiënt.  
 $t$  : de tijd sinds het starten van de pomp.

$L = \sqrt{kDc}$  met name de lekfactor, met  
 $c$  : de resulterende hydraulische weerstand van de aangrenzende slecht doorlatende lagen.

Uit de analytische benadering van het probleem blijkt dat het doorlaatvermogen, de elastische bergingskoëfficiënt en de hydraulische weerstand kunnen bepaald worden uit de verlagingen die worden opgemeten op welbepaalde afstanden van de pompput, onafhankelijk van de richting, en na welbepaalde tijdstippen na het starten van de pomp. Bij de toepassing van het invers model wordt enkel de waarde van de horizontale doorlatendheid  $k^h(1)$ , de specifieke elastische berging  $S'_A(1)$  en de hydraulische weerstand  $c(1)$  tussen laag (1) en laag (2) bepaald.

### 6.3.2. Resultaten

De horizontale doorlatendheid  $k^h(1)$  van de 10 m dikke aangepompte laag bedraagt 4,99 m/d met een nauwkeurigheidsfactor van 1,170. De grenzen van het betrouwbaarheidsinterval met een waarschijnlijkheid van 98 %, zijn aldus gelijk aan 4,26 m/d en 5,84 m/d.

De elastische bergingskoëfficiënt  $S'_A(1)$  van de aangepompte laag bedraagt  $1,86 \cdot 10^{-5}$  met een nauwkeurigheidsfactor van 1,204. De limieten van het 98 % betrouwbaarheidsinterval zijn aldus gelijk aan  $1,54 \cdot 10^{-5}$  en  $2,24 \cdot 10^{-5}$ .

Bij het minimaliseren van de som van de kwadraten van de afwijkingen tussen de berekende en de waargenomen verlaging blijkt dat de hydraulische weerstand niet éénduidig kan bepaald worden. De hydraulische weerstand heeft een geringe gevoeligheid ten opzichte van de verlaging voor de ingevoerde waarde van  $c = 160000$  d. Teneinde de hydraulische weerstand nauwkeurig te bepalen zijn waarnemingen vereist op grote afstand in de aangepompte laag of op geringe afstand in of boven de zeer slecht doorlatende laag.

De verschillen tussen de logaritmische waarden van de waargenomen en de berekende verlaging blijven na minimaliseren relatief groot. Voor alle 101 verschillen (PP, P1 en P2) bedraagt :

- de gemiddelde waarde  $\sim 0,0048$
- de standaard afwijking  $0,2234$
- de som van de kwadraten  $5,25$ .

De waargenomen en de berekende verlagingen, overeenkomstig de afgeleide waarden zijn in tijds-verlagings- en afstandsverlagingskurven weergegeven (fig. 7). Op de linkerhelft van de figuur zijn de verlagingen in de verschillende lagen, volgens de hydrogeologische schematisering (fig. 6), aangegeven. Voor verschillende afstanden van de pompput zijn met volle lijnen de berekende tijd-verlagingskurven aangegeven. De waargenomen verlagingen in de pompput en de peilputten 1 en 2 op respectievelijk 255 m en 165 m afstand van de pompput (in laag 1) zijn met kruisjes aangegeven. Uit de berekende kurven ziet men dat er in laag 2 na 1600 min. pompen slechts een zeer kleine verlaging zou optreden, zelfs op korte afstand van de pompput ( $0,017$  m). In laag 3 is de theoretisch berekende verlaging kleiner dan  $0,3$  mm voor de berekende tijdsduur zodat geen berekende verlagingen weergegeven worden. De rechterhelft van de figuur geeft de afstand-verlagingsgrafieken weer. De berekende kurven (op verschillende tijdstippen) zijn weergegeven met volle lijnen, de waargenomen verlagingen in de pompput en de peilputten 1 en 2 zijn met kruisjes aangegeven.

In fig. 8 zijn de betrouwbaarheidsellipsen overeenkomstig de waarschijnlijkheden 80, 90, 95 en 98 % afgebeeld. Tabel 4 geeft een overzicht van de logaritmen van de waargenomen en berekende verlagingen en het verschil tussen deze beide.

### 6.3.3. Besluit

Indien men veronderstelt dat men pompt in een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag dan vindt men dat de aangepompte doorlatende laag een doorlaatvermogen heeft van  $49,9 \text{ m}^2/\text{d}$  en een elastische bergingscoëfficiënt van  $1,86 \cdot 10^{-5}$ .

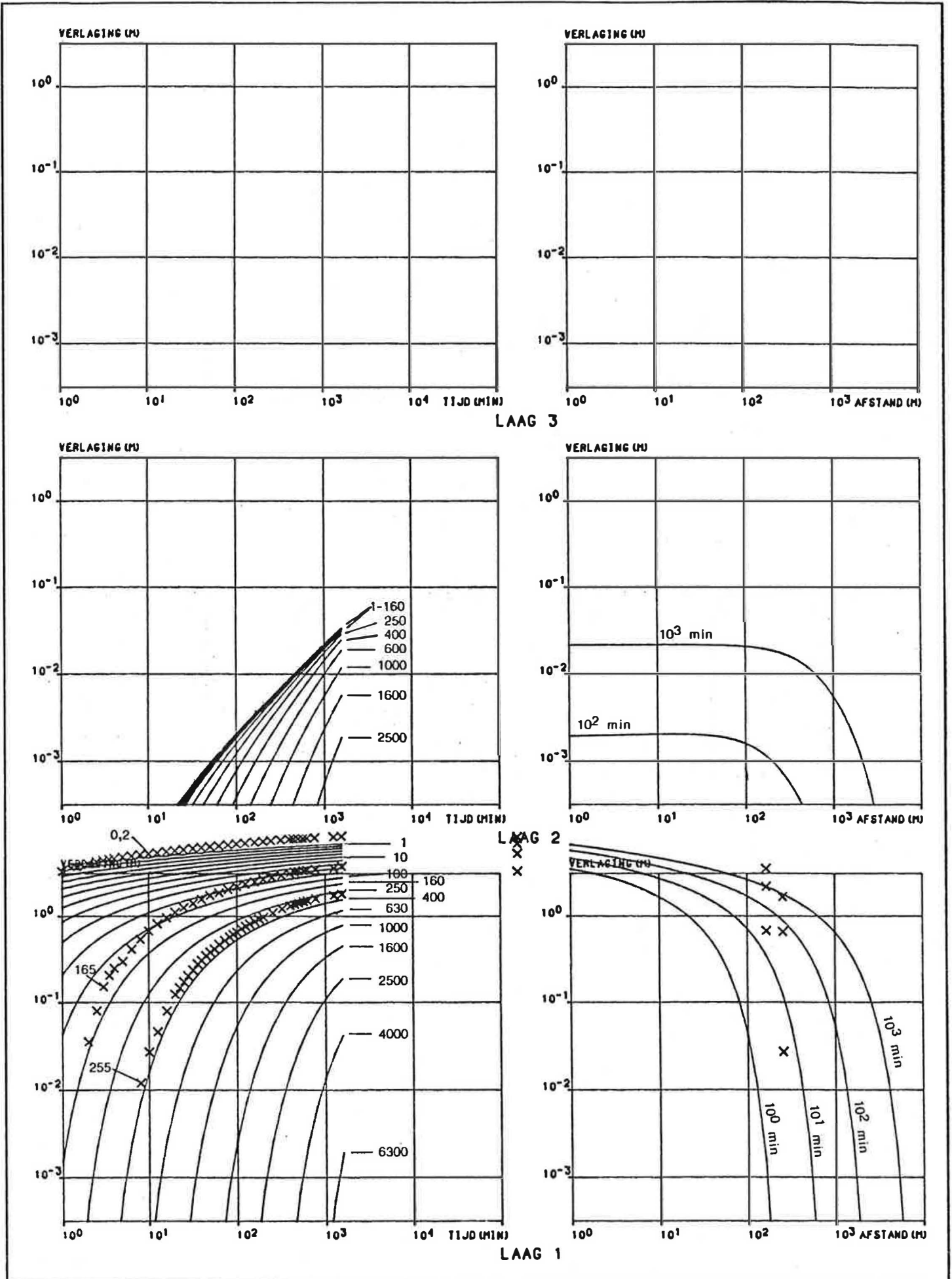


Fig. 7 - De waargenomen (kruisjes) en berekende verlaging (volle lijnen) in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken waarbij men een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag veronderstelt.

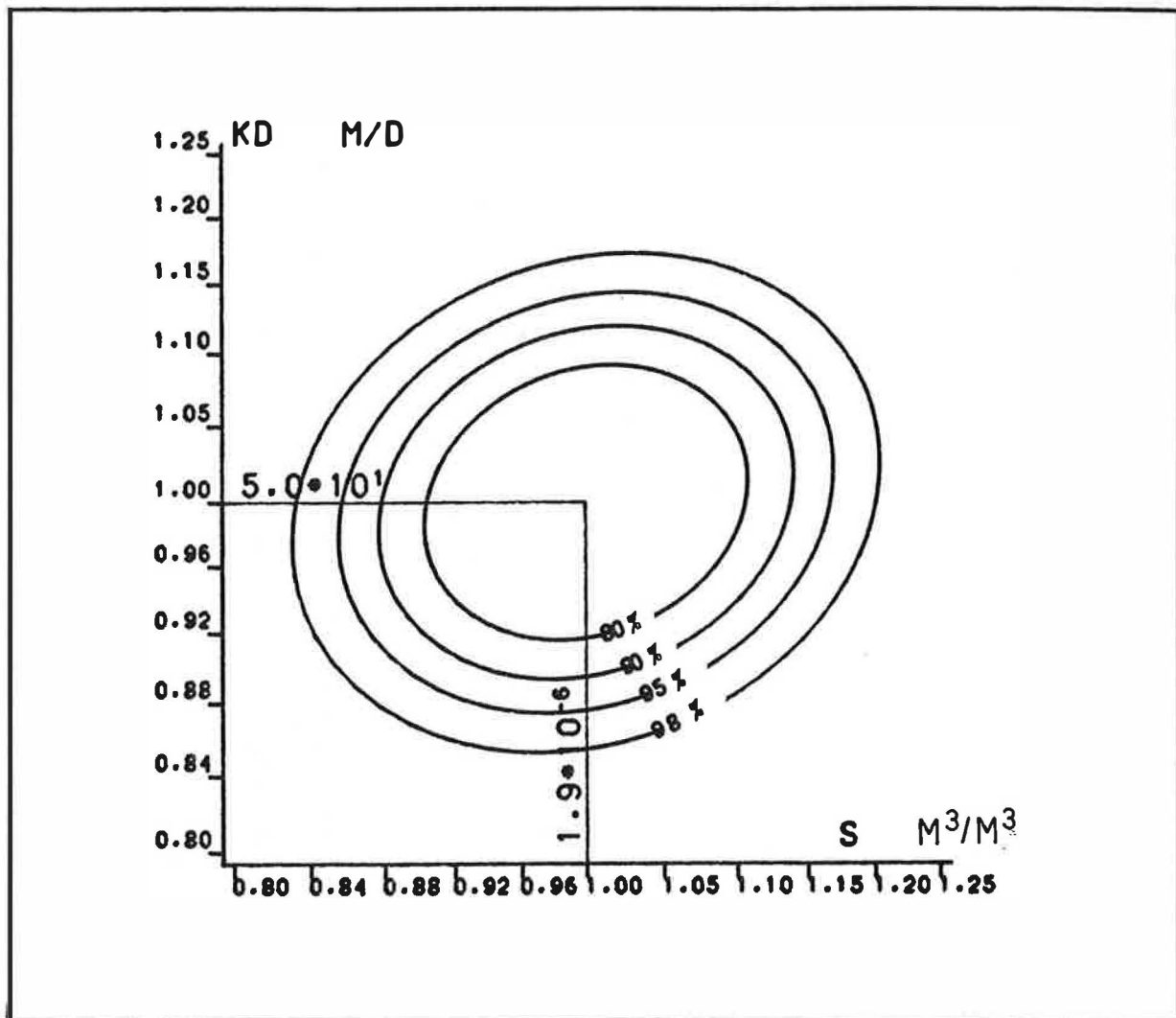


Fig. 8 - Betrouwbaarheidsellipsen van de hydraulische parameters  $kD$  (doorlaatvermogen) en  $S$  (elastische bergingscoëfficiënt) afgeleid bij veronderstelling van een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.

Tabel 4 - Vergelijking van de waargenomen en berekende verlagingen bij veronderstelling dat gepompt wordt op een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X,-----	0.100			
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN X <sup>3</sup> /DAY,-----	200.000			
INITIAL TIME, T <sub>1</sub> , IN MIN,-----	0.100			
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS				
LOGA,-----	0.100			
LATEST CALCULATED TIME, T <sub>2</sub> , IN MIN,-----	1000.			
NUMBER OF LAYERS, N,-----	3			
NUMBER OF RINGS, X,-----	50			
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----	1			
THICKNESSES OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN X				
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER				
THICKNESS OF LAYER 1, IN X,-----	10.000			
THICKNESS OF LAYER 2, IN X,-----	30.000			
THICKNESS OF LAYER 3, IN X,-----	20.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 1), IN X/DAY,-----	4.990			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 2), IN X/DAY,-----	1.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 3), IN X/DAY,-----	10.000			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 1), IN DAY,-----	100000.			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 2), IN DAY,-----	1000000.			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 1), IN X-1,-----	0.100-00			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 2), IN X-1,-----	0.100-04			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 3), IN X-1,-----	0.500-04			
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S <sub>0</sub> ,-----	0.000000			
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 255.0X OF PUMPED WELL				
OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN
1	0.90	-1.0922	-1.9208	0.8286
2	1.00	-0.9230	-1.5686	0.6457
3	1.10	-0.7793	-1.3672	0.5879
4	1.20	-0.6431	-1.0969	0.4538
5	1.30	-0.5306	-0.9066	0.3760
6	1.35	-0.4675	-0.8297	0.3622
7	1.40	-0.4430	-0.7595	0.3158
8	1.45	-0.4018	-0.6904	0.2885
9	1.51	-0.3534	-0.6253	0.2718
10	1.56	-0.3152	-0.5544	0.2392
11	1.60	-0.2811	-0.5129	0.2317
12	1.65	-0.2470	-0.4584	0.2114
13	1.70	-0.2165	-0.4166	0.2003
14	1.75	-0.1870	-0.3820	0.1950
15	1.80	-0.1564	-0.3261	0.1697
16	1.86	-0.1218	-0.2807	0.1588
17	1.92	-0.0927	-0.2396	0.1469
18	1.96	-0.0731	-0.2097	0.1366
19	2.00	-0.0531	-0.1811	0.1280
20	2.05	-0.0294	-0.1433	0.1139
21	2.10	-0.0063	-0.1152	0.1069
22	2.15	0.0103	-0.0872	0.0976
23	2.20	0.0339	-0.0590	0.0928
24	2.26	0.0530	-0.0311	0.0841
25	2.30	0.0701	-0.0070	0.0771
26	2.41	0.1003	0.0438	0.0625
27	2.51	0.1394	0.0683	0.0505
28	2.61	0.1672	0.1261	0.0416
29	2.66	0.1808	0.1405	0.0403
30	2.70	0.1930	0.1556	0.0373
31	2.76	0.2060	0.1732	0.0326
32	2.80	0.2168	0.1833	0.0336
33	2.89	0.2383	0.2087	0.0296
34	3.10	0.2794	0.2455	0.0339
35	3.19	0.2946	0.2622	0.0324
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
8 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
STANDARD DEVIATION				0.1891
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
27 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				
STANDARD DEVIATION				0.0745
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1				
STANDARD DEVIATION				0.1032

Tabel 4 - vervolg

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X,-----	0.100
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M <sup>3</sup> /DAY,-----	233.000
INITIAL TIME, T <sub>1</sub> , IN MIN,-----	0.100
LOGARTHIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS LOGA,-----	0.100
LATEST CALCULATED TIME, T <sub>2</sub> , IN MIN,-----	1600.
NUMBER OF LAYERS, N,-----	3
NUMBER OF RINGS, M,-----	56
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----	1
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN X NUMBERED FROM LOWER TO UPPER	
THICKNESS OF LAYER 1, IN X,-----	10.000
THICKNESS OF LAYER 2, IN X,-----	30.000
THICKNESS OF LAYER 3, IN X,-----	20.000
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 1), IN M/DAY,-----	4.990
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 2), IN M/DAY,-----	1.000
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 3), IN M/DAY,-----	10.000
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 1), IN DAY,-----	160000.
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 2), IN DAY,-----	1000000.
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 1), IN M-1,-----	0.19D-05
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 2), IN M-1,-----	0.10D-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 3), IN M-1,-----	0.50D-04
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S <sub>0</sub> ,-----	0.030000

OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 165.0X OF PUMPED WELL				
OBSERVATION NUMBER	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (K)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (K)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	0.30	-1.6635	-1.4559	-0.2076
2	0.40	-1.3943	-1.0969	-0.2974
3	0.48	-1.2138	-0.8182	-0.3956
4	0.54	-1.0791	-0.6882	-0.3908
5	0.60	-0.9707	-0.6055	-0.3651
6	0.70	-0.8175	-0.5272	-0.2902
7	0.80	-0.6797	-0.3351	-0.2946
8	0.90	-0.5626	-0.2676	-0.2950
9	1.00	-0.4653	-0.1707	-0.2946
10	1.10	-0.3800	-0.0862	-0.2933
11	1.20	-0.2968	-0.0146	-0.2822
12	1.30	-0.2299	0.0481	-0.2780
13	1.40	-0.1699	0.1028	-0.2727
14	1.51	-0.1103	0.1523	-0.2625
15	1.60	-0.0613	0.2006	-0.2619
16	1.70	-0.0167	0.2433	-0.2604
17	1.80	0.0258	0.2761	-0.2523
18	1.90	0.0660	0.3145	-0.2485
19	2.00	0.1007	0.3481	-0.2474
20	2.10	0.1329	0.3784	-0.2455
21	2.20	0.1659	0.4057	-0.2398
22	2.30	0.1937	0.4338	-0.2401
23	2.40	0.2196	0.4577	-0.2381
24	2.51	0.2463	0.4807	-0.2344
25	2.60	0.2688	0.5022	-0.2334
26	2.65	0.2799	0.5213	-0.2414
27	2.70	0.2896	0.5296	-0.2393
28	2.75	0.3005	0.5372	-0.2367
29	2.79	0.3089	0.5449	-0.2361
30	2.89	0.3268	0.5517	-0.2249
31	3.10	0.3612	0.5647	-0.2035
32	3.19	0.3741	0.5855	-0.2113
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
13 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.3044
STANDARD DEVIATION				0.0014
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF				
19 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.2399
STANDARD DEVIATION				0.0153
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2				
STANDARD DEVIATION				0.0468



Tabel 4 - vervolg

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X, -----	0.100
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN X <sup>3</sup> /DAY, -----	285.000
INITIAL TIME, T <sub>1</sub> , IN MIN, -----	0.100
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS LOGA, -----	0.100
LATEST CALCULATED TIME, T <sub>2</sub> , IN MIN, -----	1600.
NUMBER OF LAYERS, N, -----	3
NUMBER OF RINGS, K, -----	56
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----	1
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN K NUMBERED FROM LOWER TO UPPER	
THICKNESS OF LAYER 1, IN X, -----	10.000
THICKNESS OF LAYER 2, IN X, -----	30.000
THICKNESS OF LAYER 3, IN X, -----	20.000
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(1), IN K/DAY, -----	4.990
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(2), IN K/DAY, -----	1.000
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(3), IN K/DAY, -----	10.000
HYDRAULIC RESISTANCE, C(1), IN DAY, -----	160000.
HYDRAULIC RESISTANCE, C(2), IN DAY, -----	1000000.
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> (1), IN X-1, -----	0.10D-05
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> (2), IN X-1, -----	0.10D-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> (3), IN X-1, -----	0.50D-04
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S <sub>0</sub> , -----	0.030000

OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 0.2M OF PUMPED WELL

OBSERVATION NUMBER	LOG. TIME (MIN) OBSERVATION	LOG. CALCUL. DRAWDOWN (K)	LOG. OBSERVED DRAWDOWN (K)	LOG. DIF. DRAWDOWN
1	0.00	0.6354	0.5250	0.1103
2	0.18	0.6926	0.5793	0.1128
3	0.30	0.7772	0.6173	0.1602
4	0.40	0.6989	0.6395	0.0594
5	0.48	0.7670	0.6561	0.1109
6	0.54	0.7589	0.6693	0.0896
7	0.60	0.7240	0.6785	0.0455
8	0.70	0.7970	0.6946	0.1024
9	0.80	0.7460	0.7076	0.0384
10	0.90	0.8070	0.7218	0.0852
11	1.00	0.7658	0.7332	0.0326
12	1.10	0.8174	0.7451	0.0723
13	1.20	0.7867	0.7589	0.0278
14	1.30	0.8296	0.7709	0.0588
15	1.40	0.8031	0.7825	0.0207
16	1.51	0.8398	0.7959	0.0439
17	1.60	0.8198	0.8059	0.0129
18	1.70	0.8516	0.8179	0.0337
19	1.80	0.8348	0.8261	0.0087
20	1.90	0.8624	0.8352	0.0272
21	2.00	0.8493	0.8465	0.0028
22	2.10	0.8728	0.8573	0.0155
23	2.20	0.8640	0.8675	-0.0035
24	2.30	0.8840	0.8771	0.0070
25	2.39	0.8770	0.8854	-0.0084
26	2.50	0.8940	0.8940	-0.0000
27	2.60	0.8885	0.9025	-0.0141
28	2.64	0.8951	0.9050	-0.0098
29	2.69	0.9032	0.9089	-0.0057
30	2.75	0.9019	0.9116	-0.0097
31	2.79	0.8999	0.9150	-0.0151
32	2.88	0.9110	0.9201	-0.0092
33	3.10	0.9209	0.9297	-0.0088
34	3.19	0.9190	0.9373	-0.0183

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF

15 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE 0.0751  
STANDARD DEVIATION ----- 0.0396

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF

19 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE 0.0023  
STANDARD DEVIATION ----- 0.0172

MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3 -----

STANDARD DEVIATION ----- 0.0344  
STANDARD DEVIATION ----- 0.0366

MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS -----

STANDARD DEVIATION ----- -0.0048  
STANDARD DEVIATION ----- 0.2234

MEAN OF DEVIATIONS OF 11 OBSERVATIONS IN LAYER 1 -----

STANDARD DEVIATION ----- -0.0048  
STANDARD DEVIATION ----- 0.2234

De afwijkingen tussen de logaritmen van de berekende en de waargenomen verlagingen blijven relatief groot hetgeen voor gevolg heeft dat de betrouwbaarheidsintervallen breed zijn (zie betrouwbaarheidsellipsen). Hieruit kan men besluiten dat het veronderstelde model van grondwaterstroming (homogeen, isotroop en poreus midden) sterk verschilt met de werkelijke grondwaterstroming.

#### 6.4. INTERPRETATIE VAN DE POMPPROEF DOOR MIDDEL VAN HET INVERS MODEL WAARBIJ MEN EEN ANISOTROPE GEDEELTELIJK AFGESLOTEN LAAG VERONDERSTELT

##### 6.4.1. Theoretische beschouwingen

De aangepompte laag wordt verondersteld homogeen, anisotroop, poreus en van een konstante dikte over het volledige gebied dat door de pompproef beïnvloed wordt. De lijnen van gelijke stijghoogte zullen bijgevolg verlopen zoals concentrische ellipsen omheen de pompput. De verlaging,  $s$ , in een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag wordt gegeven door de formule van HANTUSH (1966).

$$s = Q \cdot W(u', r/L_n) / 4\pi(kD)_e \quad (2)$$

waarbij  $Q$  : het opgepompte debiet is.  
 $(kD)_e$  : het effectieve doorlaatvermogen is :  
 $(kD)_e = \sqrt{(kD)_x \cdot (kD)_y}$  met  $(kD)_x$  en  $(kD)_y$  de doorlaatvermogens in de hoofdrichtingen  $x$  (maximaal doorlaatvermogen) en  $y$  (minimaal doorlaatvermogen).  
 $W(u', r/L_n)$  : de putfunctie van een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag is :  $u' = r^2 S / 4t(kD)_n$   
 met  $r$  : de afstand tot de pompput

S	: de elastische bergingscoëfficiënt
t	: de tijd sinds het starten van de pomp
$(kD)_n$	: het doorlaatvermogen in een bepaalde richting n die een hoek $(\theta+\alpha)$ maakt met de hoofdrichting x $(kD)_n = (kD)_x / [\cos^2(\theta+\alpha_n) + m \sin^2(\theta+\alpha_n)]$ met $m = (kD)_x / (kD)_y = [(kD)_e / (kD)_y]^2$
$L_n$	: de lekfactor in een bepaalde richting n, $L_n = \sqrt{(kD)_n c}$ met c de resulterende hydraulische weerstand van de aangrenzende slecht doorlatende lagen.

De verlaging kan echter volkomen analoog geformuleerd worden als bij een isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag als men de afstand van de pompput,  $r$ , vervangt door een schijnbare afstand,  $r'_n$ .

$$\text{Hierbij is } r'_n = r \sqrt{(kD)_e / (kD)_n} \quad (3)$$

$$\text{of } r'_n = r \cdot \sqrt{\cos^2(\theta+\alpha_n) / \sqrt{m} + \sin^2(\theta+\alpha_n) \cdot \sqrt{m}} \quad (4)$$

$$\text{Dan wordt } u' = r'^2_n S / 4 (kD)_e t \quad (5)$$

$$\text{en is } r / L_n = r'_n / L_e \text{ waarbij } L_e = \sqrt{(kD)_e c} \quad (6)$$

Bij deze formulering worden de twee parameters  $(kD)_n$  en  $L_n$ , die veranderen in functie van de richting, vervangen door slechts één parameter die afhankelijk is van de richting, namelijk de schijnbare afstand tot de pompput,  $r'_n$ , en twee parameters  $(kD)_e$  en  $L_e$  die onafhankelijk zijn van de richting. Als men dus rekening houdt met de schijnbare afstand, die bepaald wordt door de werkelijke afstand, de anisotropie  $m$  en de hoek  $(\theta+\alpha)$  gevormd door de hoofdrichting  $x$  en de richting pompput - peilput, dan kan men de verlagingen berekenen met de formule voor de isotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag waarbij voor het doorlaatvermogen de ef-

fectieve waarde moet ingevuld worden. Indien men de coördinaten  $x$  en  $y$  van de peilputten gemeten volgens de hoofdrichtingen van het anisotrope midden en met de pompput als oorsprong vervangt door respektievelijk  $x/m^{0.25}$  en  $y/m^{0.25}$  op dezelfde assen dan zullen de lijnen van gelijke stijghoogte eveneens als cirkels verlopen in het nieuwe coördinatenstelsel. Hieruit volgt dat de verlagingen eveneens kunnen berekend worden met het axiaal symmetrisch model.

Steunend op de verlaging gemeten in de pompput en de twee peilputten worden de optimale waarden van  $(kD)_e$ ,  $S$ ,  $r'_{1n}$  en  $r'_{2n}$  bepaald door het minimaliseren van de som van de kwadraten van de afwijkingen. Hierbij zijn  $r'_{1n}$  en  $r'_{2n}$  de schijnbare afstanden van respektievelijk de peilputten 1 en 2. Deze schijnbare afstanden kunnen uit de bovenstaande formule afgeleid worden als zijnde een funktie van de werkelijke afstand tot de pompput (respektievelijk  $r_1$  en  $r_2$ ), de anisotropie  $m$  en de hoek tussen de hoofdrichting  $x$  en de richting van de pompput-peilput, namelijk :

$$r'_{n1} = r_1 \sqrt{\cos^2(\theta)/\sqrt{m} + \sin^2(\theta) \cdot \sqrt{m}} \quad (7)$$

$$r'_{n2} = r_2 \sqrt{\cos^2(\theta + \alpha_n)/\sqrt{m} + \sin^2(\theta + \alpha_n) \sqrt{m}} \quad (8)$$

waarbij  $\theta$  de hoek is tussen de hoofdrichting  $x$  en de richting pompput-peilput 1.

en  $\alpha$  de hoek tussen de richting pompput-peilput 1 en de richting pompput-peilput 2.

Uit de bovenstaande twee betrekkingen (7) en (8) kan men afleiden dat :

$$a_n = \left( \frac{r_1}{r'_{n1}} \cdot \frac{r'_{n2}}{r_2} \right)^2 = \frac{\cos^2(\theta + \alpha_n) + m \cdot \sin^2(\theta + \alpha_n)}{\cos^2 \theta + m \cdot \sin^2 \theta} \quad (9)$$

Door middel van de optimalisatie werden de waarden voor  $r'_{n1}$

en  $r'_{n2}$  bepaald. Met de hulp van de werkelijke afstanden  $r_1$  en  $r_2$  werd de waarde voor  $a_n$  bepaald, namelijk gelijk aan 0,2862. Uit deze waarde kan dan de anisotropie afgeleid worden met behulp van de formule (9), namelijk :

$$m = \frac{a_n \cos^2 \theta - \cos^2 (\theta + \alpha)}{\sin^2 (\theta + \alpha) - a_n \sin^2 \theta} \quad (10)$$

Daar slechts 2 peilputten voorhanden zijn in twee verschillende richtingen kan men niet tegelijkertijd de anisotropie en de hoofdrichting bepalen.

#### 6.4.2. Resultaten

Bij iedere richting kan de anisotropie bepaald worden te samen met de schijnbare afstanden  $r'_{n1}$  en  $r'_{n2}$  met behulp van de formules (10), (7) en (8). Daar de berekende verlagingen van de P1 en P2 identiek blijven bij gelijke waarden van  $r'_{n2}S$  (zie vergelijkingen (2) en (5)) kan bij elke richting de overeenkomende elastische bergingskoëfficiënt berekend worden. In tabel 5 worden voor iedere hoek  $\theta$  gelegen tussen - 85 en - 36 de berekende waarden voor de anisotropie  $m$ , de schijnbare afstanden  $r'_{n1}$  en  $r'_{n2}$  en de elastische bergingskoëfficiënt  $S$  weergegeven. Voor de waarden van  $\theta$  gelegen tussen - 126 en - 85 en tussen - 36 en + 5 zijn de waarden van de anisotropie negatief. Er bestaat dus geen werkelijke oplossing tussen deze hoeken. De anisotropie is positief en groter dan 1 tussen de hoeken - 85 en - 36. Dat betekent dat de hoofdrichting  $x$ , met het grootste doorlaatvermogen, voorkomt tussen deze grenzen. De anisotropie is positief maar kleiner dan 1 tussen de hoeken + 5 en + 54. De hoofdrichting  $y$  is hier de richting met het kleinste doorlaatvermogen. Deze laatste oplossingen zijn identiek aan deze tussen de hoeken - 85 en - 36.

Past men het invers model enkel op de verlaging van de pomp-

Tabel 5 - Berekende waarden voor de anisotropie, de schijnbare afstanden  $r'n_1$  en  $r'n_2$  en de elastische bergingscoëfficiënt S voor de verschillende hoeken  $\theta$  die de hoofdrichting x met het grootste doorlaatvermogen vormt met de richting pompput-peilput 1.

H	ANISOTROPIE	R'N1	R'N2	S
-85	25.766	709.27	250.43	0.00000453
-84	29.017	577.16	203.79	0.00000685
-83	19.005	510.84	183.20	0.00000347
-82	14.474	453.21	170.61	0.00000977
-81	11.818	458.30	161.32	0.00001086
-80	10.096	439.53	155.19	0.00001181
-79	8.893	424.68	149.95	0.00001265
-78	8.008	412.52	145.65	0.00001341
-77	7.333	402.30	142.05	0.00001410
-76	6.893	393.55	138.96	0.00001473
-75	6.379	385.92	136.26	0.00001532
-74	6.033	379.20	133.89	0.00001587
-73	5.749	373.19	131.77	0.00001638
-72	5.512	367.79	129.86	0.00001686
-71	5.315	362.88	128.13	0.00001732
-70	5.149	358.40	126.54	0.00001776
-69	5.009	354.27	125.09	0.00001818
-68	4.893	350.45	123.74	0.00001857
-67	4.797	346.90	122.49	0.00001896
-66	4.718	343.59	121.32	0.00001932
-65	4.654	340.48	120.22	0.00001968
-64	4.605	337.56	119.19	0.00002002
-63	4.570	334.80	118.21	0.00002035
-62	4.546	332.19	117.29	0.00002067
-61	4.536	329.72	116.42	0.00002098
-60	4.537	327.38	115.59	0.00002129
-59	4.550	325.15	114.80	0.00002158
-58	4.575	323.03	114.06	0.00002186
-57	4.613	321.01	113.34	0.00002214
-56	4.664	319.09	112.67	0.00002240
-55	4.730	317.28	112.03	0.00002266
-54	4.812	315.56	111.42	0.00002291
-53	4.912	313.95	110.85	0.00002315
-52	5.032	312.44	110.32	0.00002337
-51	5.176	311.05	109.83	0.00002358
-50	5.347	309.80	109.38	0.00002377
-49	5.551	308.69	108.99	0.00002394
-48	5.795	307.76	108.66	0.00002409
-47	6.089	307.04	108.41	0.00002420
-46	6.446	306.58	108.25	0.00002427
-45	6.887	306.46	108.21	0.00002429
-44	7.430	306.72	108.32	0.00002424
-43	8.145	307.69	108.64	0.00002410
-42	9.075	309.45	109.26	0.00002382
-41	10.350	312.43	110.31	0.00002337
-40	12.196	317.31	112.04	0.00002266
-39	15.091	325.38	114.89	0.00002155
-38	20.258	339.48	119.07	0.00001979
-37	32.046	367.67	129.82	0.00001688
-36	55.417	451.66	159.47	0.00001118

put toe dan vindt men bij een doorlaatvermogen van  $43,8 \text{ m}^2/\text{d}$  een grote elastische bergingskoëfficiënt, namelijk  $3,12 \cdot 10^{-3}$  met een nauwkeurigheidsfactor gelijk aan 1,395 voor een waarschijnlijkheid van 98 %. Hierop steunend onderstelt men dat de aangepompte laag een grote elastische bergingskoëfficiënt heeft. De best passende oplossing, waarbij de verlagingen van zowel de peilputten als de pompput in rekening gebracht worden, zal bijgevolg deze zijn met de grootste elastische bergingskoëfficiënt en met de kleinste schijnbare afstanden  $r'_{n1}$  en  $r'_{n2}$ . Deze komt overeen met een hoek  $\theta$  gelijk aan  $-45^\circ 12'$ , een anisotropie van 6,79, een effectief doorlaatvermogen van  $43,8 \text{ m}^2/\text{d}$ , een elastische bergingskoëfficiënt van  $2,43 \cdot 10^{-5}$ , een schijnbare afstand  $r'_{n1}$  van 306,4 m, een schijnbare afstand  $r'_{n2}$  van 108,2 m. Het maximaal doorlaatvermogen komt voor in de richting N  $84^\circ 28'$  E en is gelijk aan  $114,1 \text{ m}^2/\text{d}$ . Het minimale doorlaatvermogen,  $16,8 \text{ m}^2/\text{d}$ , komt voor in de richting N  $174^\circ 28'$  E (fig. 9).

De grenzen van het betrouwbaarheidsinterval met een waarschijnlijkheid van 98 % voor het effectieve doorlaatvermogen is gelijk aan  $41,32 \text{ m}^2/\text{d}$  en  $46,43 \text{ m}^2/\text{d}$ . Voor de elastische bergingskoëfficiënt bedraagt ze  $2,284 \cdot 10^{-5}$ . Steunend op de benedengrens van de elastische bergingskoëfficiënt kunnen de grenzen van de betrouwbaarheidsintervallen voor de hoek  $\theta$  en de anisotropie  $m$  afgeleid worden. Deze zijn voor de hoek  $\theta$  gelijk aan  $-54^\circ 18'$  en  $-40^\circ 12'$  (N  $75^\circ 22'$  E en N  $85^\circ 12'$  E) en voor de anisotropie  $m$  gelijk aan 4,786 en 11,76 (fig. 10).

De waargenomen en berekende verlagingen van de pompproef worden weergegeven in tijd-verlagings- en afstand-verlagingskurven (fig. 11). Voor verschillende schijnbare afstanden zijn met volle lijnen de berekende tijd-verlagingskurven aangegeven. De waargenomen verlagingen in de pompput en de peilputten 1 en 2 op respectievelijk 306,4 m en 108,2 m

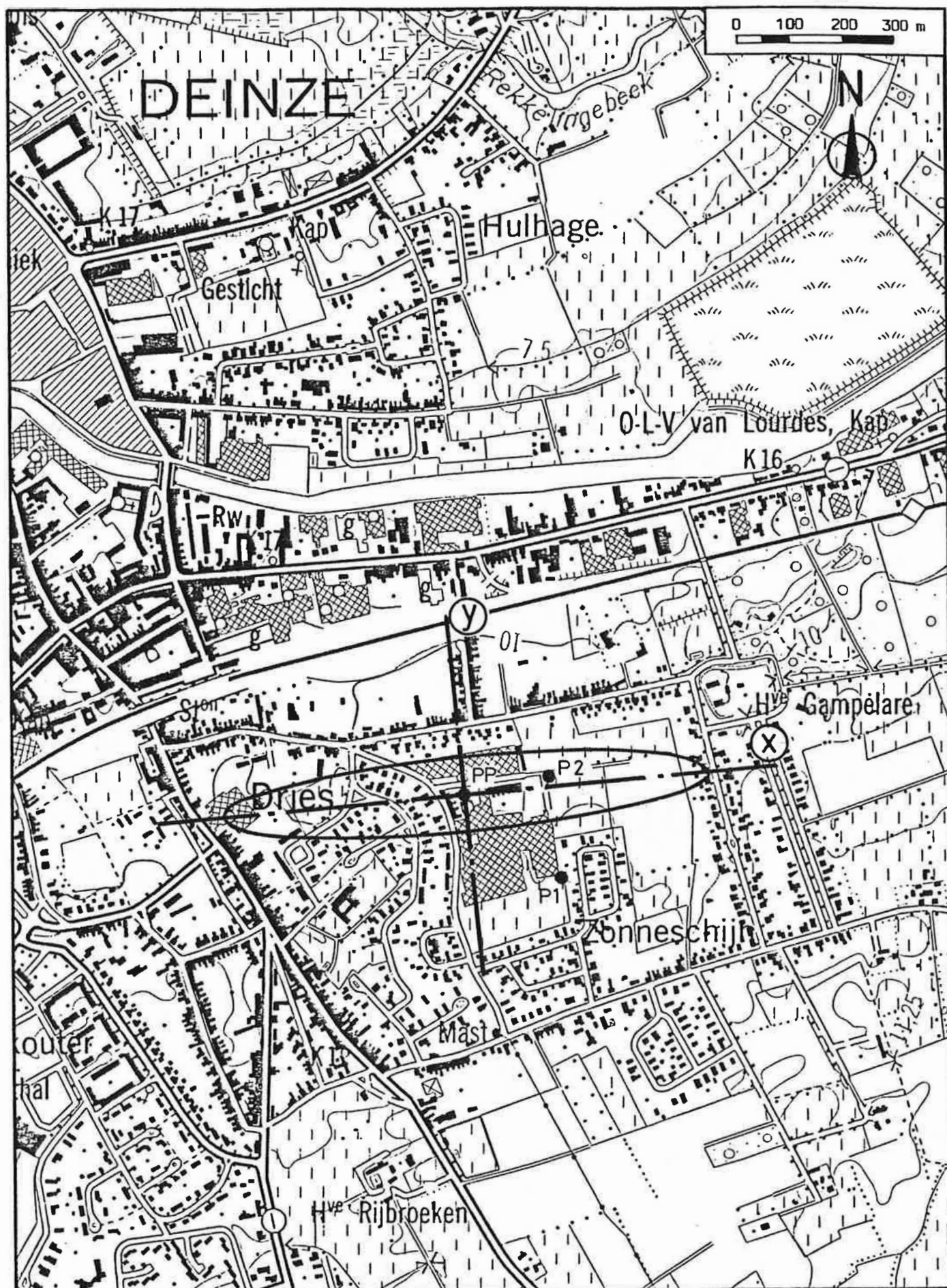


Fig. 9 - Hoofdrichtingen x (grootste doorlaatvermogen) en y (kleinste doorlaatvermogen) van de best passende oplossing waarbij alle waargenomen verlagingen in rekening gebracht worden tesamen met een ellips van gelijke verlaging rond de pompput.



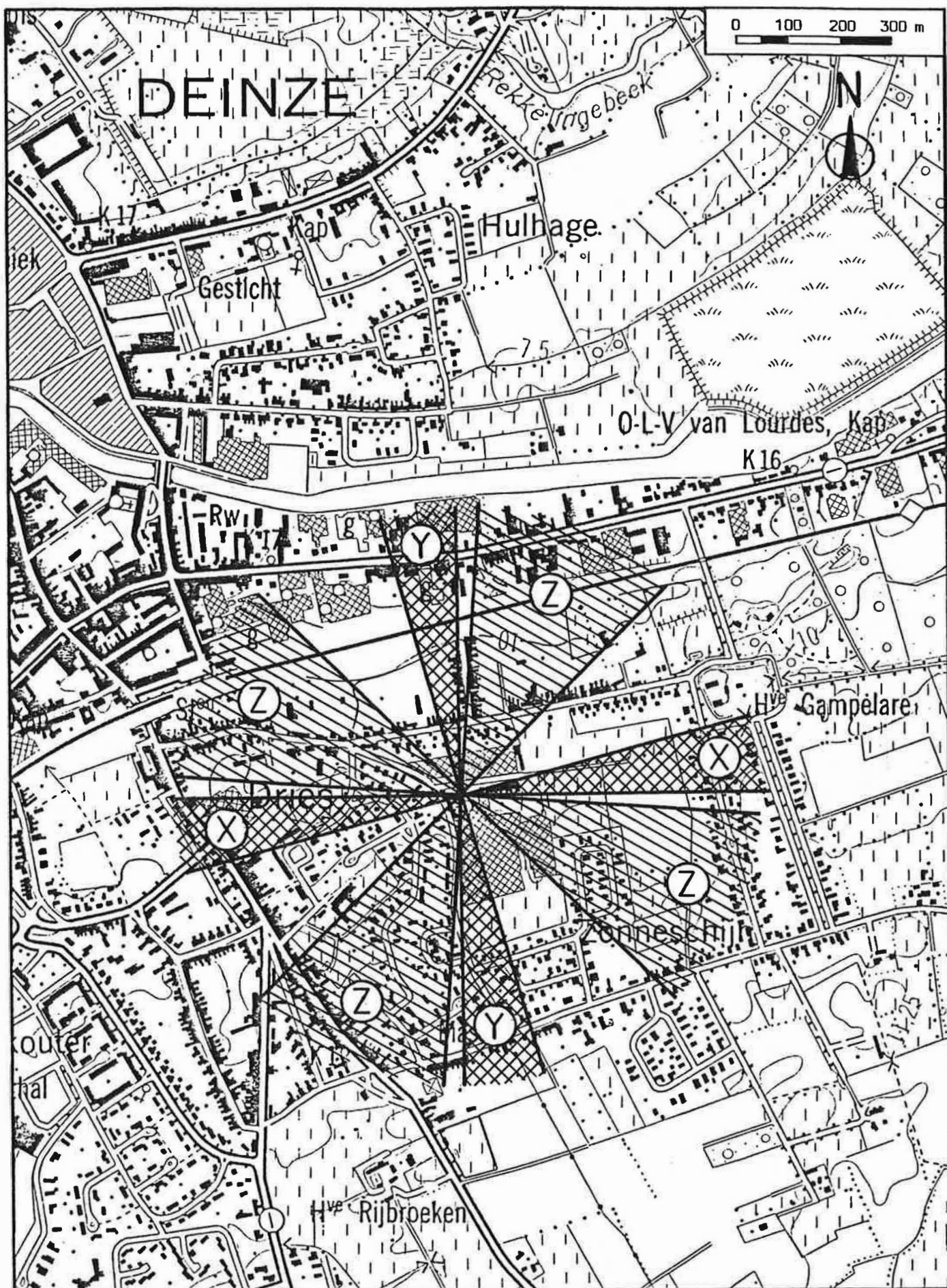


Fig. 10 - Aanduiding van de zones X en Y waarbinnen respectievelijk de hoofdrichtingen x en y voorkomen met een waarschijnlijkheid van 98 % en van de zone Z waarbinnen de hoofdrichtingen niet kunnen voorkomen.

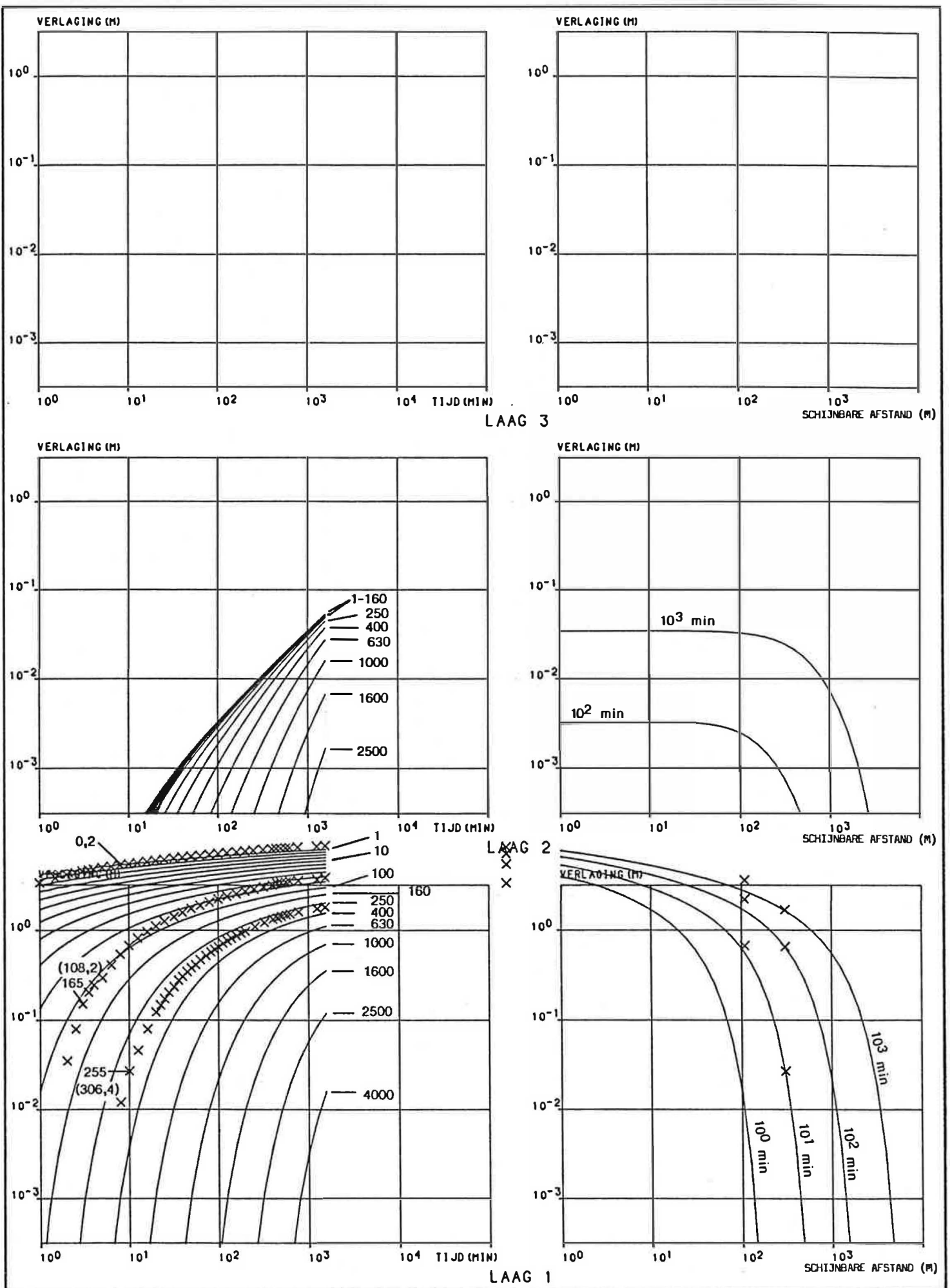


Fig. 11 - De waargenomen (kruisjes) en berekende verlagings (volle lijn) in tijd-verlagings- en afstand-verlagingsgrafieken waarbij men een anisotrope gedeeltelijk afgesloten water-voerende laag veronderstelt.

schijnbare afstand zijn met kruisjes aangegeven<sup>4</sup>. In tabel 6 worden de logaritmen van de waargenomen en berekende verlagingen weergegeven te samen met de afwijkingen tussen deze beide verlagingen. In fig. 12 worden de betrouwbaarheidsellipsen weergegeven overeenkomstig de waarschijnlijkheden 80, 90, 95 en 98 %. De standaardafwijking van de 101 verschillen tussen de berekende en waargenomen verlagingen is gelijk aan 0,0884 (ten opzichte van 0,2234 bij isotropie). De som van dat kwadraat van de afwijkingen is gelijk aan 0,782 (ten opzichte van 5,25 bij isotropie).

Als men dus aanneemt dat de aangepompte laag een verschillend doorlaatvermogen heeft in de verschillende richtingen dan kunnen de afwijkingen tussen de waargenomen en berekende verlaging sterk gereduceerd worden ten opzichte van de veronderstelling van een konstant doorlaatvermogen in de verschillende richting.

Uit de grootte van het interval blijkt dat de richting maar vooral de anisotropie niet nauwkeurig te bepalen zijn. Om de anisotropie nauwkeurig te bepalen zijn minimum drie peilputten in drie verschillende richtingen ten opzichte van de pompput vereist.

Dat de standaardafwijking en de som van het kwadraat van de afwijking nog relatief groot blijven is vooral te wijten aan de verlagingen gemeten in de pompput en in peilput 2. Deze resterende afwijkingen (waargenomen verlaging te groot in peilput 2 en te klein in pompput) zijn wellicht toe te schrijven aan het feit dat de watervoerende laag in de sokkelgesteenten niet voldoende gespleten is zodat de veronderstelling van een poreus midden niet helemaal korrekt is.

De hydraulische weerstand kan terug niet éénduidig bepaald worden uit alle verlagingen gemeten in de verschillende put-

---

<sup>4</sup> voor meer uitleg zie ook verklaring bij fig. 7.

Tabel 6 - Vergelijking van de waargenomen en berekende verlagingen bij veronderstelling dat gepompt wordt op een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag ; de aangeduide afstanden van peilput 1 en peilput 2 komen overeen met de schijnbare afstanden  $r'_{n1}$  en  $r'_{n2}$  .

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X,-----	0.100			
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M <sup>3</sup> /DAY,-----	268.000			
INITIAL TIME, T <sub>1</sub> , IN MIN,-----	0.100			
LOGARTMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS				
LOGA,-----	0.100			
LATEST CALCULATED TIME, T <sub>2</sub> , IN MIN,-----	1600.			
NUMBER OF LAYERS, N,-----	3			
NUMBER OF RINGS, M,-----	56			
THE WELLSCREEN IS SITUATED IN LAYER-----	1			
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN X				
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER				
THICKNESS OF LAYER 1, IN X,-----	10.000			
THICKNESS OF LAYER 2, IN X,-----	30.000			
THICKNESS OF LAYER 3, IN X,-----	20.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 1), IN X/DAY,-----	4.350			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 2), IN X/DAY,-----	1.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 3), IN X/DAY,-----	10.000			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 1), IN DAY,-----	101500.			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 2), IN DAY,-----	1000000.			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA( 1), IN X-1,-----	0.240-05			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA( 2), IN X-1,-----	0.100-04			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA( 3), IN X-1,-----	0.500-04			
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S <sub>0</sub> ,-----	0.000000			
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 306.4X OF PUMPED WELL				
OBSERVATION	LOG. TIME(MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN
1	0.90	-1.8937	-1.9208	0.0271
2	1.00	-1.5619	-1.5686	-0.0067
3	1.10	-1.3272	-1.3372	0.0100
4	1.20	-1.0937	-1.0969	0.0032
5	1.30	-0.9168	-0.9066	-0.0102
6	1.35	-0.8376	-0.8297	-0.0079
7	1.40	-0.7667	-0.7595	-0.0072
8	1.45	-0.7010	-0.6904	-0.0106
9	1.51	-0.6250	-0.6253	0.0002
10	1.56	-0.5664	-0.5544	-0.0120
11	1.60	-0.5144	-0.5129	-0.0015
12	1.65	-0.4634	-0.4584	-0.0050
13	1.70	-0.4173	-0.4168	-0.0005
14	1.75	-0.3747	-0.3820	0.0073
15	1.80	-0.3300	-0.3261	-0.0039
16	1.86	-0.2805	-0.2807	0.0001
17	1.92	-0.2392	-0.2396	0.0004
18	1.96	-0.2118	-0.2097	-0.0021
19	2.00	-0.1837	-0.1811	-0.0026
20	2.05	-0.1512	-0.1433	-0.0079
21	2.10	-0.1222	-0.1152	-0.0070
22	2.15	-0.0971	-0.0872	-0.0099
23	2.20	-0.0654	-0.0590	-0.0064
24	2.26	-0.0400	-0.0311	-0.0089
25	2.30	-0.0174	-0.0070	-0.0104
26	2.41	0.0297	0.0438	-0.0141
27	2.51	0.0721	0.0683	-0.0038
28	2.61	0.1072	0.1261	-0.0189
29	2.66	0.1242	0.1405	-0.0163
30	2.70	0.1393	0.1556	-0.0163
31	2.76	0.1553	0.1732	-0.0179
32	2.80	0.1636	0.1833	-0.0197
33	2.89	0.1945	0.2037	-0.0092
34	3.10	0.2431	0.2455	-0.0024
35	3.19	0.2606	0.2622	-0.0016
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
8 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0011
STANDARD DEVIATION				0.0130
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
27 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0075
STANDARD DEVIATION				0.0070
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1				-0.0061
STANDARD DEVIATION				0.0092

Tabel 6 - vervolg

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X,-----	0.100
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M <sup>3</sup> /DAY,-----	2894.20
INITIAL TIME, T <sub>1</sub> , IN MIN,-----	0.100
LOGARTMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS	
LOGA,-----	0.100
LATEST CALCULATED TIME, T <sub>2</sub> , IN MIN,-----	1600.
NUMBER OF LAYERS, N,-----	3
NUMBER OF RINGS, M,-----	56
THE WELLSCREEN SITUATED IS SITUATED IN LAYER-----	1
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN X	
INDEXED FROM LOWER TO UPPER	
THICKNESS OF LAYER 1, IN X,-----	10.000
THICKNESS OF LAYER 2, IN X,-----	30.000
THICKNESS OF LAYER 3, IN X,-----	20.000
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(1), IN M/DAY,-----	4.380
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(2), IN M/DAY,-----	1.000
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K(3), IN M/DAY,-----	10.000
HYDRAULIC RESISTANCE, C(1), IN DAY,-----	101500.
HYDRAULIC RESISTANCE, C(2), IN DAY,-----	1000000.
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(1), IN X-1,-----	0.240-05
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(2), IN X-1,-----	0.100-04
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA(3), IN X-1,-----	0.500-04
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S <sub>0</sub> ,-----	0.050000

OBSERVATION WELL 2 IN LAYER 1 AT 108.2M OF PUMPED WELL

OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMMER	OBSERVATION	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN
1	0.30	-1.1331	-1.4559	0.3178
2	0.40	-0.9472	-1.0969	0.1497
3	0.48	-0.8165	-0.8162	0.0016
4	0.54	-0.7176	-0.6562	-0.0295
5	0.60	-0.6377	-0.6055	-0.0321
6	0.70	-0.5225	-0.5272	0.0047
7	0.80	-0.4173	-0.3851	-0.0322
8	0.90	-0.3264	-0.2876	-0.0388
9	1.00	-0.2498	-0.1707	-0.0791
10	1.10	-0.1818	-0.0862	-0.0957
11	1.20	-0.1146	-0.0146	-0.1000
12	1.30	-0.0599	0.0431	-0.1030
13	1.40	-0.0103	0.1023	-0.1131
14	1.51	0.0395	0.1523	-0.1128
15	1.60	0.0808	0.2006	-0.1193
16	1.70	0.1188	0.2458	-0.1250
17	1.80	0.1552	0.2781	-0.1229
18	1.90	0.1899	0.3145	-0.1246
19	2.00	0.2202	0.3481	-0.1260
20	2.10	0.2483	0.3784	-0.1301
21	2.20	0.2774	0.4057	-0.1283
22	2.30	0.3019	0.4338	-0.1318
23	2.40	0.3249	0.4577	-0.1328
24	2.51	0.3436	0.4807	-0.1321
25	2.60	0.3687	0.5022	-0.1335
26	2.65	0.3786	0.5213	-0.1427
27	2.70	0.3874	0.5296	-0.1422
28	2.75	0.3969	0.5372	-0.1403
29	2.79	0.4044	0.5449	-0.1405
30	2.89	0.4203	0.5517	-0.1314
31	3.10	0.4507	0.5647	-0.1139
32	3.19	0.4621	0.5655	-0.1234

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF

13 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.0134

STANDARD DEVIATION ----- 0.1216

MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 2 OF

19 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE -0.1293

STANDARD DEVIATION ----- 0.0967

MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 2 ----- -0.0322

STANDARD DEVIATION ----- 0.0954

Tabel 6 - vervolg

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X,-----	0.100			
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN K3/DAY,-----	268.000			
INITIAL TIME, T1, IN XIN,-----	0.100			
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS				
LOGA,-----	0.100			
LATEST CALCULATED TIME, T2, IN XIN,-----	1600.			
NUMBER OF LAYERS, N,-----	3			
NUMBER OF RINGS, M,-----	56			
THE WELLSCREEN IS SITUATED IN LAYER-----	1			
THICKNESSES OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN X				
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER				
THICKNESS OF LAYER 1, IN X,-----	10.000			
THICKNESS OF LAYER 2, IN X,-----	30.000			
THICKNESS OF LAYER 3, IN X,-----	20.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 1), IN X/DAY,-----	4.330			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 2), IN X/DAY,-----	1.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 3), IN X/DAY,-----	10.000			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 1), IN DAY,-----	101500.			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 2), IN DAY,-----	1000000.			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA( 1), IN X-1,-----	0.240-05			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA( 2), IN X-1,-----	0.100-04			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, SA( 3), IN X-1,-----	0.500-04			
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S0,-----	0.060000			
OBSERVATION WELL 3 IN LAYER 1 AT 0.2X OF PUMPED WELL				
OBSERVATION	LOG. TIME(XIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN
1	0.00	0.6815	0.5250	0.1564
2	0.18	0.7364	0.5793	0.1566
3	0.30	0.8157	0.6170	0.1987
4	0.40	0.7444	0.6395	0.1049
5	0.48	0.8079	0.6561	0.1518
6	0.54	0.8011	0.6693	0.1318
7	0.60	0.7694	0.6765	0.0909
8	0.70	0.8375	0.6946	0.1429
9	0.80	0.7915	0.7376	0.0839
10	0.90	0.8434	0.7218	0.1266
11	1.00	0.8114	0.7332	0.0732
12	1.10	0.8595	0.7451	0.1145
13	1.20	0.8323	0.7569	0.0734
14	1.30	0.8724	0.7709	0.1016
15	1.40	0.8489	0.7825	0.0664
16	1.51	0.8633	0.7959	0.0674
17	1.60	0.8657	0.8069	0.0588
18	1.70	0.8955	0.8179	0.0770
19	1.80	0.8608	0.8261	0.0546
20	1.90	0.9068	0.8382	0.0686
21	2.00	0.8955	0.8488	0.0467
22	2.10	0.9176	0.8573	0.0603
23	2.20	0.9102	0.8675	0.0426
24	2.30	0.9291	0.8771	0.0521
25	2.39	0.9232	0.8854	0.0373
26	2.50	0.9394	0.8940	0.0453
27	2.60	0.9348	0.9025	0.0323
28	2.64	0.9411	0.9050	0.0361
29	2.69	0.9483	0.9089	0.0398
30	2.75	0.9478	0.9116	0.0302
31	2.79	0.9461	0.9150	0.0311
32	2.83	0.9500	0.9201	0.0305
33	3.10	0.9663	0.9297	0.0360
34	3.19	0.9648	0.9373	0.0275
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
15 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 XIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.1180
STANDARD DEVIATION				0.0379
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 3 OF				
19 OBSERVATIONS AFTER 31.6 XIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0478
STANDARD DEVIATION				0.0165
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 3				0.0790
STANDARD DEVIATION				0.0450
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				
STANDARD DEVIATION				-0.0016
STANDARD DEVIATION				0.0884
MEAN OF DEVIATIONS OF 11 OBSERVATIONS IN LAYER 1				
STANDARD DEVIATION				-0.0016
STANDARD DEVIATION				0.0884

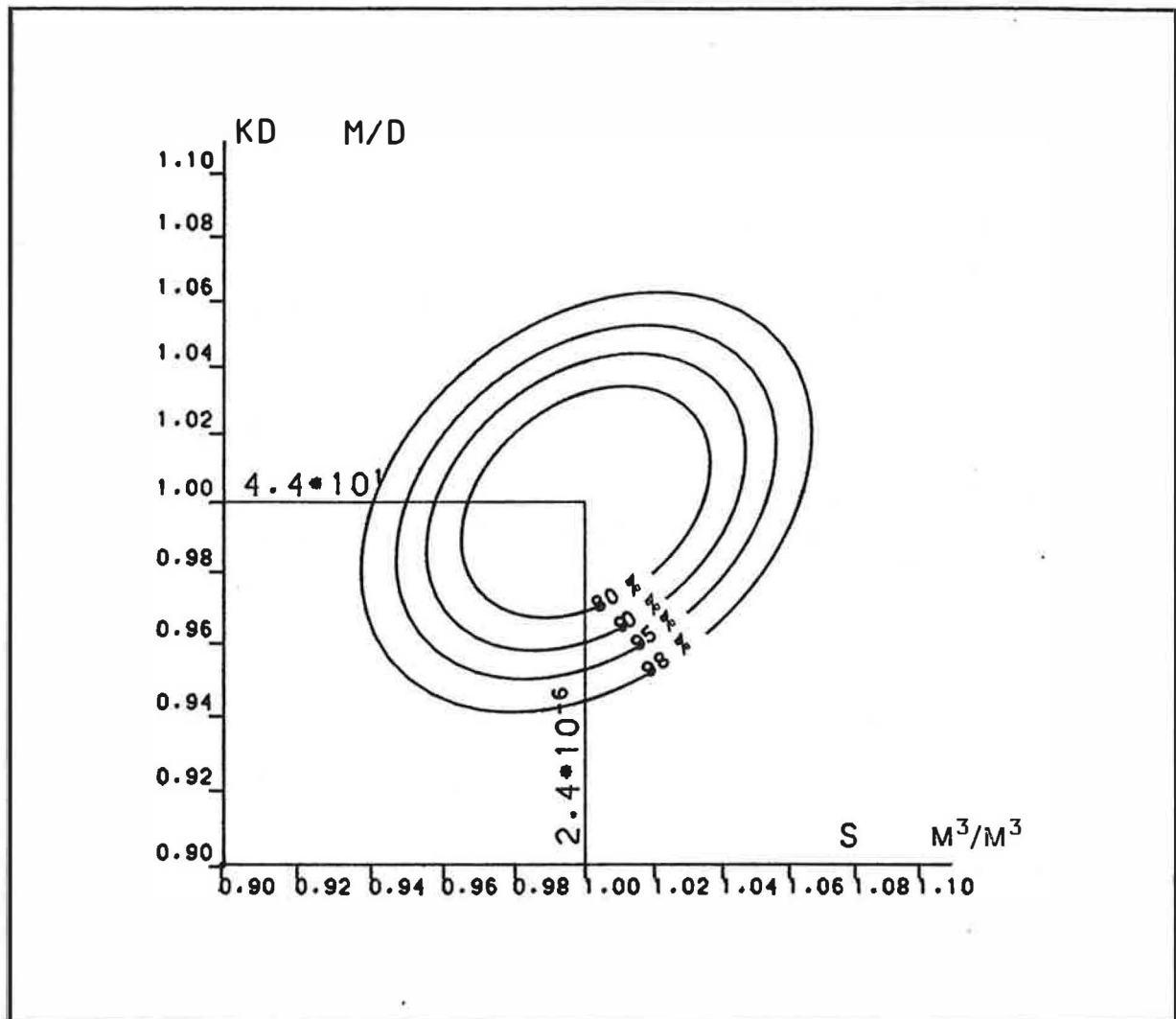


Fig. 12 - Betrouwbaarheidsellipsen van de hydraulische parameters,  $kD$  (doorlaatvermogen) en  $S$  (elastische bergingscoëfficiënt) afgeleid bij veronderstelling van een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag.



ten. De afwijkingen tussen de gemeten en de waargenomen verlagingen zijn te groot en tegenstrijdig (vooral PP en P2) om de hydraulische weerstand voldoende nauwkeurig te kunnen afleiden (zie tabel 6).

Indien men echter enkel de verlagingen interpreteerd in de verste peilput (P1), dan blijkt dat deze hydraulische weerstand gelijk is aan 101.500 dagen bij een effectief doorlaatvermogen van 42,5 m<sup>2</sup>/d en een elastisch bergingscoëfficiënt van  $2,397 \cdot 10^{-5}$ . In tabel 7 worden de logaritmen van de waargenomen en berekende verlagingen weergegeven tesamen met de afwijkingen tussen deze beide waarden. De waargenomen en berekende verlagingen vallen nagenoeg samen. De som van de 36 kwadraten van de afwijkingen is gelijk aan 0,00187 terwijl de standaardafwijking van deze afwijkingen 0,0108 bedraagt. De betrouwbaarheidsellipsen voor deze oplossing worden weergegeven in fig. 13. De grenzen van het betrouwbaarheidsinterval voor een waarschijnlijkheid van 98 % zijn voor de hydraulische weerstand gelijk aan 87.380 d en 117.900 d, voor het effectieve doorlaatvermogen gelijk aan 42,13 m<sup>2</sup>/d en 42,86 m<sup>2</sup>/d en tenslotte voor de elastische bergingscoëfficiënt gelijk aan  $2,382 \cdot 10^{-5}$  en  $2,412 \cdot 10^{-5}$ .

#### 6.4.3. Besluit

Bij de veronderstelling van anisotropie van de aangepompte doorlatende laag kunnen de afwijkingen tussen de waargenomen en berekende verlagingen sterk gereduceerd worden ten opzichte van de veronderstelling dat deze laag isotroop is. Het effectieve doorlaatvermogen van de aangepompte laag is 43,8 m<sup>2</sup>/d met 41,32 m<sup>2</sup>/d en 46,43 m<sup>2</sup>/d als grenzen van het 98 % betrouwbaarheidsinterval. Behalve de zo juist beschreven parameters kunnen de andere parameters niet nauwkeurig ingeschat worden.

De gespleten watervoerende laag is anisotroop. Tussen de richtingen N 3°40' E en N 44°40' E en de richtingen N 93°40'



Tabel 7 - Vergelijking van de waargenomen en de berekende verlagingen bij veronderstelling dat gepompt wordt op een anisotrope gedeeltelijk afgesloten watervoerende laag waarbij alleen de gegevens van peilput 1 in aanmerking genomen worden.

RADIUS OF WELLSCREEN, R, IN X,-----	0.100			
DISCHARGE OF PUMPED WELL, Q, IN M <sup>3</sup> /DAY,-----	256.300			
INITIAL TIME, T <sub>1</sub> , IN MIN,-----	0.100			
LOGARITHMIC INCREASE OF TIME AND OF RADIUS OF RINGS				
LOGA,-----	0.100			
LATEST CALCULATED TIME, T <sub>2</sub> , IN MIN,-----	1600.			
NUMBER OF LAYERS, N,-----	3			
NUMBER OF RINGS, K,-----	50			
THE WELLSCREEN IS SITUATED IN LAYER-----	1			
THICKNESS OF THE SUCCESSIVE LAYERS, IN X				
NUMBERED FROM LOWER TO UPPER				
THICKNESS OF LAYER 1, IN X,-----	10.000			
THICKNESS OF LAYER 2, IN X,-----	30.000			
THICKNESS OF LAYER 3, IN X,-----	20.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 1), IN M/DAY,-----	4.250			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 2), IN M/DAY,-----	1.000			
HYDRAULIC CONDUCTIVITY, K( 3), IN M/DAY,-----	10.000			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 1), IN DAY,-----	101500.			
HYDRAULIC RESISTANCE, C( 2), IN DAY,-----	1000000.			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 1), IN X-1,-----	0.240-05			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 2), IN X-1,-----	0.100-04			
SPECIFIC ELASTIC STORAGE, S <sub>a</sub> ( 3), IN X-1,-----	0.500-04			
STORAGE COEFFICIENT AT THE WATERTABLE, S <sub>w</sub> ,-----	0.000000			
OBSERVATION WELL 1 IN LAYER 1 AT 300.4X OF PUMPED WELL				
OBSERVATION	LOG. TIME (MIN)	LOG. CALCUL.	LOG. OBSERVED	LOG. DIF.
NUMBER	OBSERVATION	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN(X)	DRAWDOWN
1	0.90	-1.9054	-1.9208	0.0154
2	1.00	-1.5391	-1.5536	-0.0205
3	1.10	-1.3309	-1.3372	0.0063
4	1.20	-1.0945	-1.0909	0.0024
5	1.30	-0.9150	-0.9000	-0.0050
6	1.35	-0.8354	-0.8297	-0.0057
7	1.40	-0.7638	-0.7505	-0.0043
8	1.45	-0.6973	-0.6904	-0.0070
9	1.51	-0.6206	-0.6253	0.0047
10	1.55	-0.5614	-0.5544	-0.0070
11	1.60	-0.5068	-0.5129	0.0040
12	1.65	-0.4574	-0.4584	0.0010
13	1.70	-0.4114	-0.4168	0.0054
14	1.75	-0.3679	-0.3620	0.0141
15	1.80	-0.3228	-0.3261	0.0033
16	1.85	-0.2729	-0.2807	0.0077
17	1.92	-0.2312	-0.2396	0.0083
18	1.95	-0.2036	-0.2097	0.0061
19	2.00	-0.1753	-0.1811	0.0058
20	2.05	-0.1426	-0.1433	0.0007
21	2.10	-0.1134	-0.1152	0.0018
22	2.15	-0.0861	-0.0872	-0.0009
23	2.20	-0.0562	-0.0590	0.0028
24	2.25	-0.0307	-0.0311	0.0004
25	2.30	-0.0079	-0.0070	-0.0009
26	2.41	0.0394	0.0433	-0.0043
27	2.51	0.0821	0.0853	-0.0037
28	2.61	0.1174	0.1201	-0.0028
29	2.65	0.1344	0.1405	-0.0061
30	2.70	0.1496	0.1556	-0.0061
31	2.75	0.1657	0.1732	-0.0075
32	2.80	0.1790	0.1833	-0.0043
33	2.89	0.2049	0.2087	-0.0038
34	3.10	0.2537	0.2455	0.0081
35	3.19	0.2712	0.2622	0.0090
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
8 OBSERVATIONS BEFORE 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				-0.0028
STANDARD DEVIATION				0.0108
MEAN OF DEVIATIONS TO OBSERVATIONS IN WELL 1 OF				
27 OBSERVATIONS AFTER 31.6 MIN. AFTER START OF PUMPAGE				0.0010
STANDARD DEVIATION				0.0061
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS OF WELL 1				0.0001
STANDARD DEVIATION				0.0074
MEAN OF DEVIATIONS TO ALL OBSERVATIONS				0.0001
STANDARD DEVIATION				0.0074
MEAN OF DEVIATIONS OF 35 OBSERVATIONS IN LAYER 1				0.0001
STANDARD DEVIATION				0.0074

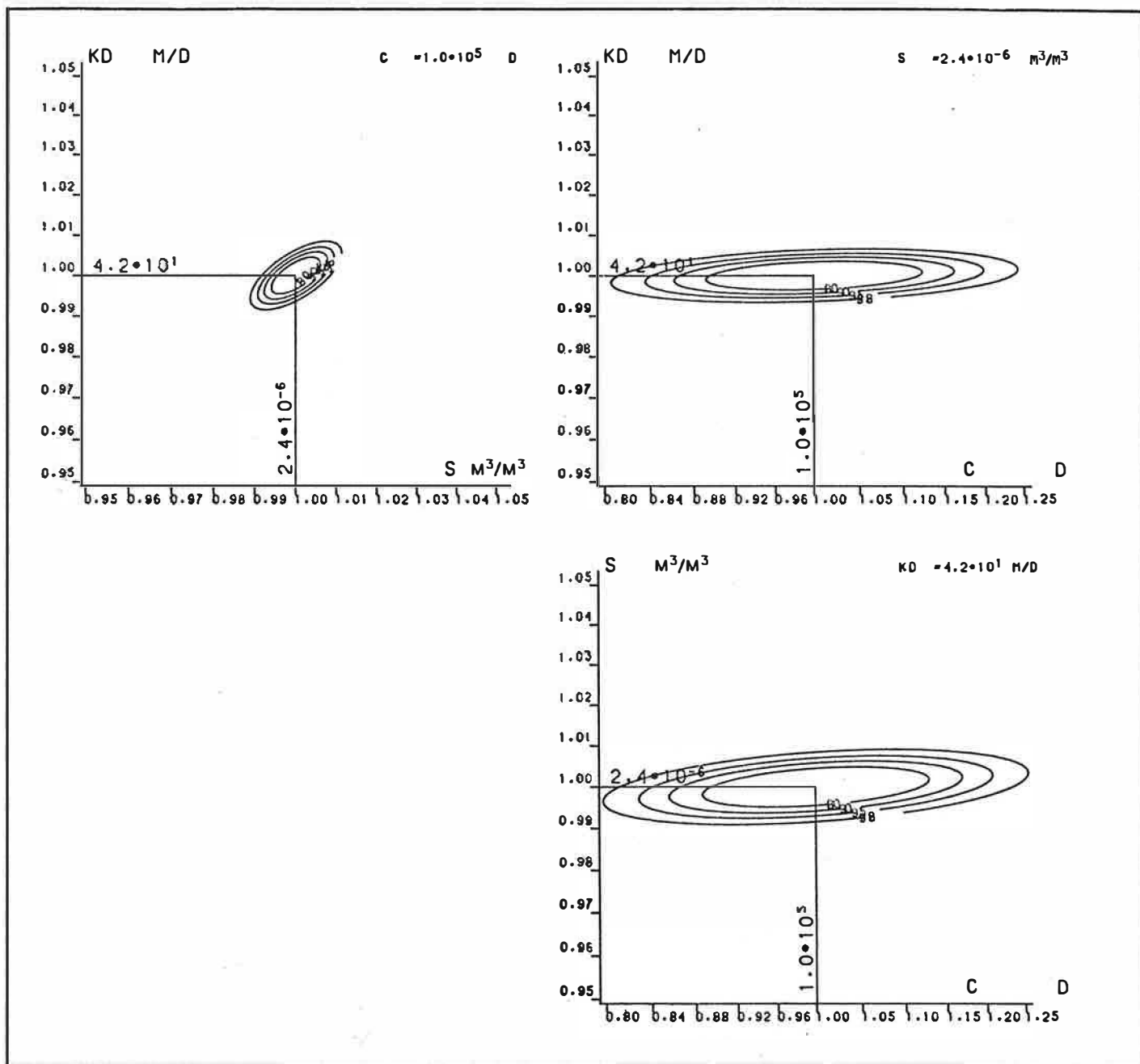


Fig. 13 - Betrouwbaarheidsellipsen van de hydraulische parameters,  $kD$  (doorlaatvermogen),  $S$  (elastische bergingscoëfficiënt) en  $c$  (hydraulische weerstand) bij veronderstelling van een anisotrope gedeeltelijk watervoerende laag. Alleen de verlaging in peilput 1 is in rekening gebracht.

E en N  $134^{\circ}40'$  E kunnen de hoofdrichtingen van de anisotrope watervoerende laag gevormd door Sokkel en Krijt niet voorkomen.

Steunend op de gegevens van de twee peilputten kan men enkel bepalen dat de hoofdrichting met het grootste doorlaatvermogen voorkomt tussen de richtingen N  $44^{\circ}40'$  E en N  $93^{\circ}40'$  E. Steunend op de gegevens van de peilputten en van de pompput vindt men één best passende oplossing. Deze best passende oplossing geeft de werkelijkheid weer als men aanvaardt dat de elastische berging afgeleid uit de tijd-verlagingskurve van de pompput werkelijk een gevolg is van de hoge elasticiteit van de watervoerende laag en dat verlagingen in de pompput het gevolg zijn van de gespleten eigenschappen van het gesteente. De resultaten wat betreft de anisotrope eigenschappen van deze best passende oplossing zijn als volgt : de hoofdrichting met het grootste doorlaatvermogen is gelijk aan N  $84^{\circ}28'$  E met N  $75^{\circ}22'$  E en N  $89^{\circ}12'$  E als grenzen van het betrouwbaarheidsinterval (98 %), de anisotropie is gelijk aan 6,79 met 4,79 en 11,76 als grenzen van het betrouwbaarheidsinterval (98 %).

De resulterende hydraulische weerstand is gelijk aan 101.500 d met 87.380 d en 117.900 d als grenzen van het 98 % betrouwbaarheidsinterval. Als men veronderstelt dat geen verticale stroming bestaat vanuit de onderliggende lagen naar de aangepompte laag t.t.z. dat de aangepompte laag onderaan begrensd is door een ondoorlatende laag dan kan men deze resulterende hydraulische weerstand gelijk stellen aan deze van de bedekkende zeer harde 17 m dikke klei van de Formatie van Landen.

De verticale doorlatendheid van deze zeer harde klei zou dan gelijk zijn aan  $1,7 \cdot 10^{-4}$  m/d hetgeen betekent een hydraulische weerstand van 6000 d per meter afzetting. De grenzen zijn  $1,44 \cdot 10^{-4}$  m/d en  $1,95 \cdot 10^{-4}$  m/d en 5140 d en 6940 d voor het 98 % betrouwbaarheidsinterval van respectievelijk de verticale doorlatendheid en de hydraulische weerstand per

meter afzetting.

## 7. INTERPRETATIE VAN DE STIJGPROEF

Op semilogaritmisch papier wordt de restverlaging  $s$  uitgezet tegenover de verhouding  $t/t''$ , waarin  $t$  de tijd is sinds het aanleggen van de pomp en  $t''$  de tijd sinds het stilleggen van de pomp. Deze kurven worden weergegeven in fig. 14 voor de peilput 1 en in fig. 15 voor de peilput 2 en de pompput. Uit de helling van het rechte gedeelte van de curve kan het doorlaatvermogen bepaald worden. De resultaten zijn weergegeven in tabel 8.

Tabel 8 : Doorlaatvermogen afgeleid uit de stijgproef

Peilput	Afstand tot pompput (in m)	Doorlaatvermogen (m <sup>2</sup> /d)
1	255	35,2
2	165	26,9
Pompput	-	24,8

De resultaten verschillen sterk van deze van de pompproef; dit is te wijten aan het feit dat men bij de formule van de stijgproef veronderstelt dat uitsluitend horizontale stroming plaatsvindt in de aangepompte laag zonder lek uit de aangrenzende lagen.

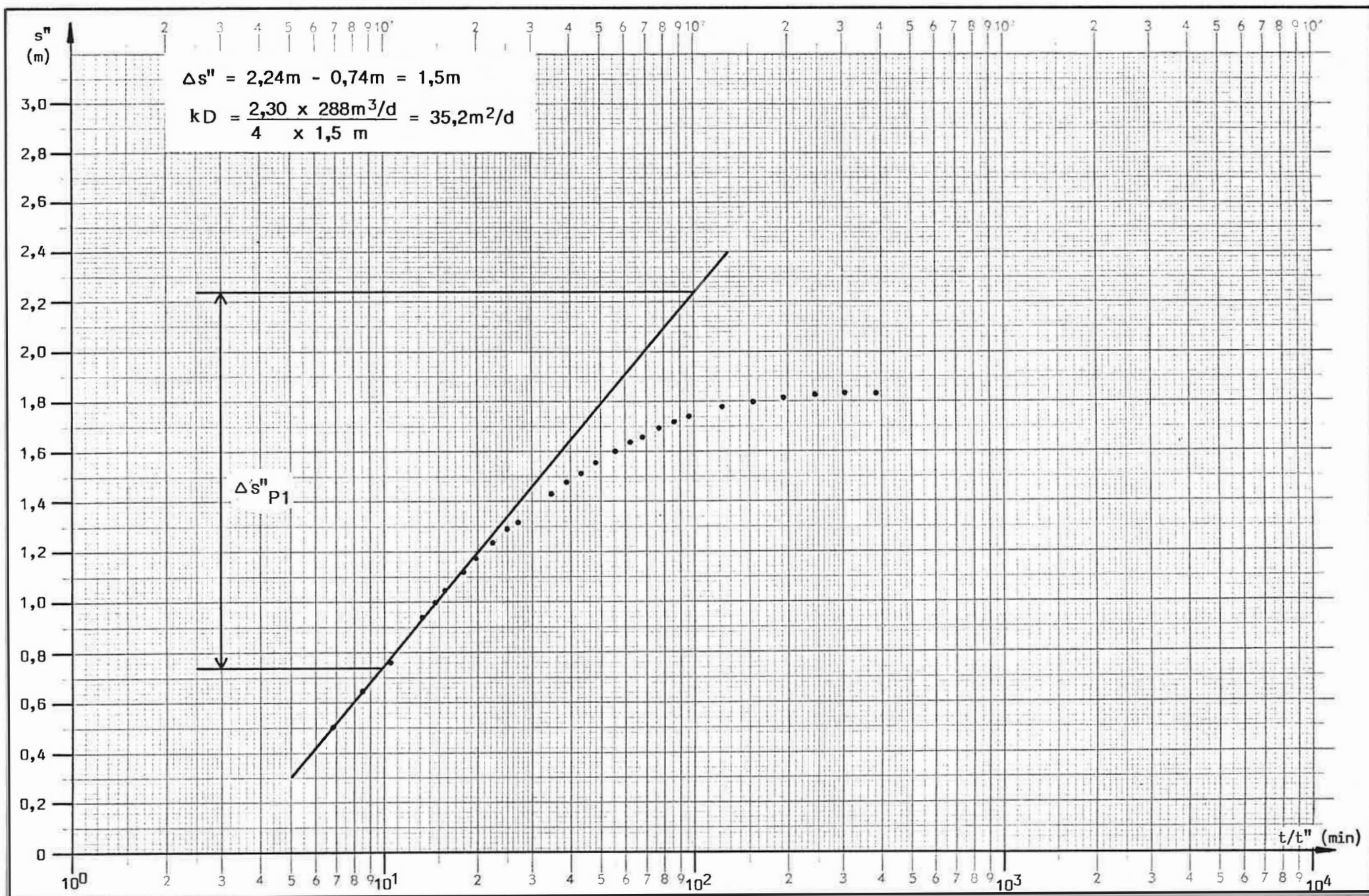


Fig. 14 - Restverlagingskurve van de peilput 1.

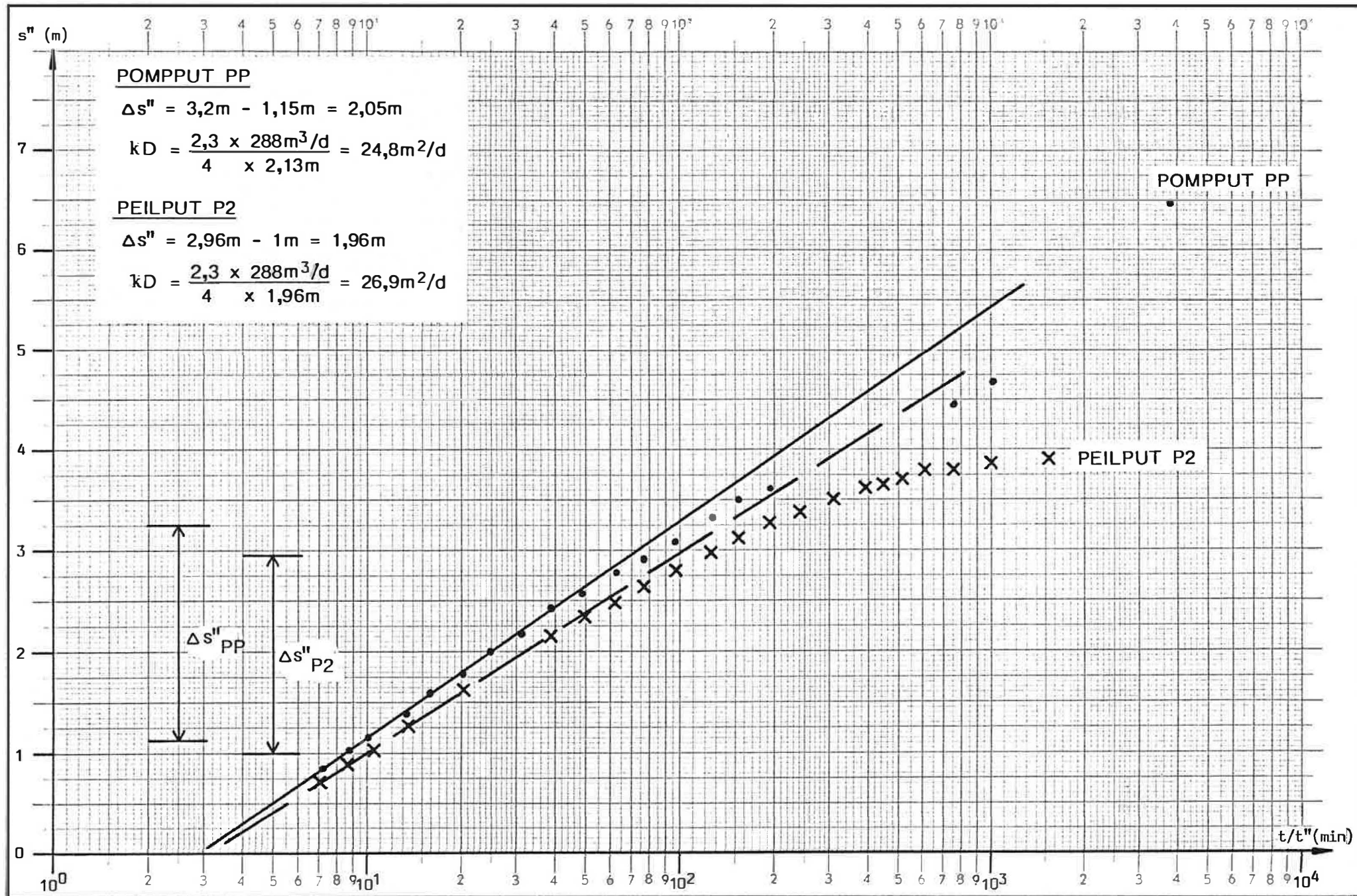


Fig. 15 - Restverlagingskurven van de pompput en van de peilput 2.

## BIJLAGE



YV.

PL. DEYNZE 69E

AARDKUNDIGE DIENST VAN BELG

M. GULINCK

Nr. 329 (I)

**BORING - FILTERPUT**

uitgevoerd te Petegem

bij de Ververijen DE CLERCK

door de firma VYNCKE A. & L. uit Gullegem

Datum mei 1965

Topographische ligging op

getekend door W. CLAESSENS, de 16.7.1965

Grondstalen verzameld door de boormeester

Boringsmethode : met inspoeling

Opeenvolgende doormeters : 230 mm filter 160 mm

Grondwaterstanden : voor de eerste maal waargenomen :

bij ruststand 50 m ; tijdens het pompen 69 m

met een debiet van 10.000 l/u

Hoogte van het maaiveld : +11

Totale diepte. 230 m

Volg- nummer.	AARD DER GRONDLAGEN	Diepte m.
	Geen stalen van 0 - 22	
1-10	Grijze klei	van 22 - 118
11-20	Zeer fijn grijsgroen zand	van 118 - 138
21-34	Bleekgrijs siltachtig, licht kalkhoudend	van 138 - 166
35-39	Mergelhoudend <u>glauconiet</u>	van 166 - 177
40 - 48	Grijsachtig mengsel van harde mergel, <u>glauconiet</u> fijn kwarts	van 177 - 195
49 -	Geelgrijsachtig kalkrijk poederachtig mengsel van <u>glauconiet</u> , kwarts-roodachtige korrels	van 196 - 230

AARDKUNDIGE VERKLARING : M. GULINCK - 23.9.1966

Onbekend : 0 - 22

Ieperiaan : 22 - 118

Landeniaan : 118 - 166 ?

Krijt en Paleozoïcum : 166 - 230

(onbepaalbaar)



PLAAT : DEINZE - '69 E.

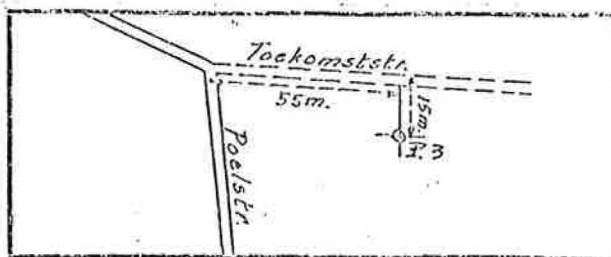
R. LEGRAND - M. GULINCK

Nr 330 (I)

~~XXXXXXXX~~ FILTERPUT

Uitgevoerd te PETEGEM

bij de Ververij DE CLERCQ, Poelstr.



door de NV. SMET uit DESSEL

datum april 1967

Topografische ligging opga-

teken door W. CLAESSENS de 12.5.1967

Grondstalen verzameld door de boormeeester

Boringsmethode : rollerbitz

Opgevolgende doormeters : 207,3-150 mm

Grondwaterstanden : ~~xxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxxx~~

bij ruststand : 24,55 m

tijdens het pompen : 37,00 m

met een debiet van 16.000 l/u

Hoogte van het maliveld : 10

Totale diepte : 235,80 m

Volg- nummer	AARD DER GRONDLAGEN	Diepte m
1-5	fijn, bleekbruingeelachtig zand, geen kalk	5.00
6-10	fijn grijsgeelachtig zand, wat fijn schelpgruis, kalkhoudend	10.00
11-15	grijs, heteromorf zand, fijn schelpgruis	15.00
16-19	kalkrijk zeer fijn zand, poederachtig, (leemhoudend), vermengd met wat grover zand	
20	heteromorf, kalkrijk zand, succinea	20.00
21-24	" " wat fijn schelpgruis	24.00
25-30	groen glauconiethoudend zand, sterk kleihoudend	30.00
31-32	zand en klei	32.00
33-35	grijze klei	35.00
36-40	idem	40.00
41-83	idem	83.00
83-90	+ zandhoudende klei	90.00
91-100	klei	100.00
101-130	klei, plaatselijk kalkhoudend	130.00
131-140	grijze kalkrijke klei	140.00
141-150	nog meer kalkhoudend, met fijn zand of silt vermengd	150.00
150-160	kalkrijk zand met klei	160.00
161-164	idem	164.00
165-171-177	witachtig krijt	177.00
178-180	witachtig, grof, heteromorf kwartszand	180.00
181	id. grindachtig, donkergrijs, kleine lignietbrokjes	181.00
182	groen-blauwachtig zand, silt of licht kleihoudend - glauconiethoudend - vertoont een zekere gelijkenis met sommige afzettingen van de "Meule".	182.00
183-184	} idem	184.00
185-186-187		187.00
188-190	roodachtig verweringsrest van een glimmerrijke schiefer en zandsteen-achtige gesteente	190.00
191-200	idem	200.00
201-202	idem	202.00
203-208	idem, meer grijsachtig	208.00
209-210	Chlorietrijke schieferachtige gesteente, tamelijk sterk verweerd	210.00
211-215	idem " schiefer	215.00
216-217	idem	217.00

YB

PL. DEINZE - 69 E.

Nr. 330 (I)

R. LEGRAND - M. GULINCK

Kernen: Ø 75 217,45 - 220,30 (2m25 kernen)

chlorietrijke, veldspaaathoudende, korrelige zandsteen

kwartsadertjes op ~ 70°-80° - helling op ~ 70° bovenaan -

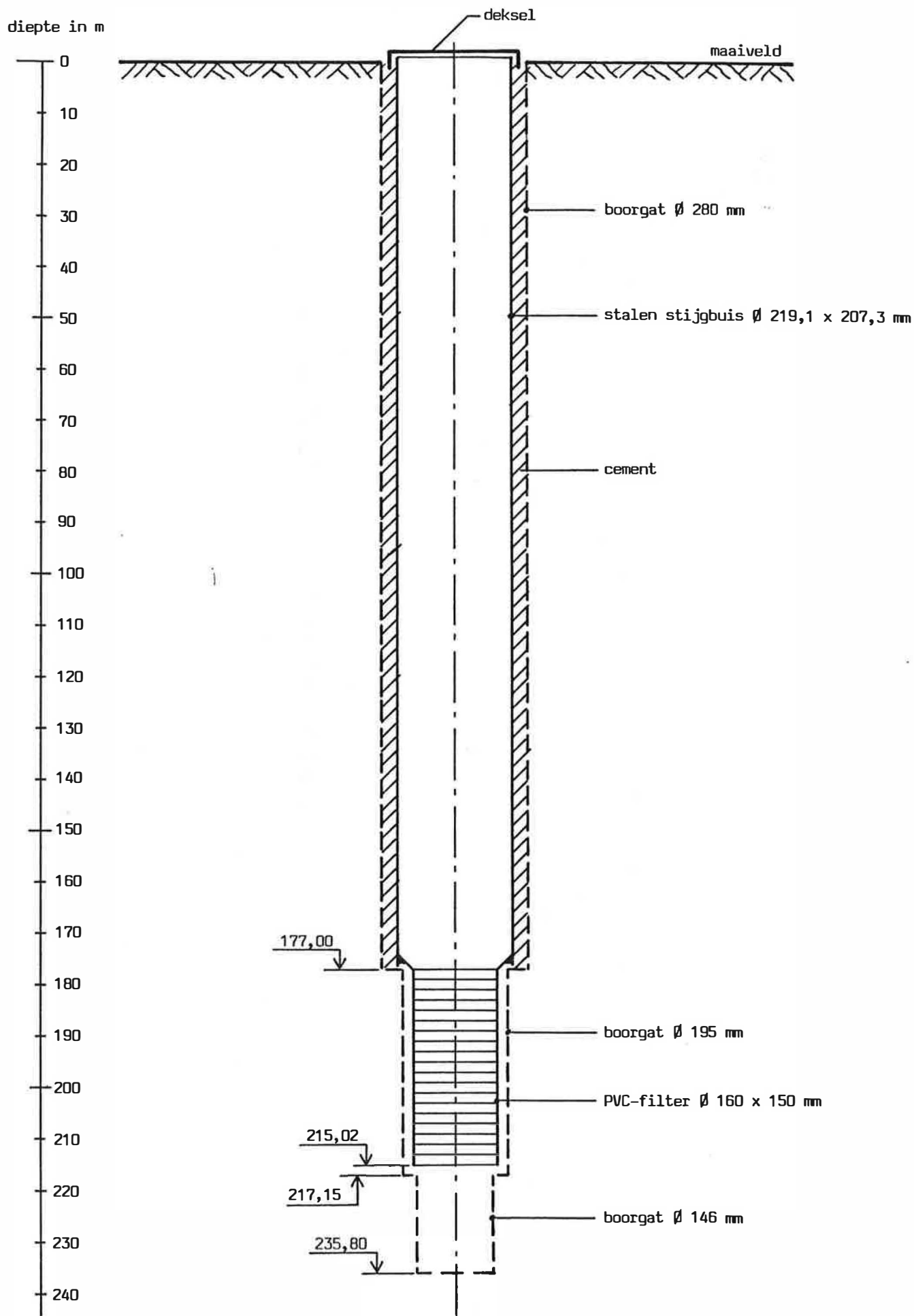
Het gesteente is zeer brokkelig

21  
21

Aardkundige Verklaring - R. LEGRAND - M. GULINCK - 22 mei 1967

Kwartair	0.00 - 25
leperiaan }	25.00 ~
Landeniaan }	164
Krijt (Senoon)	164 - 177
Krijt (onbepaald)	177 - 181
Paleozoikum (assise van Tubize)	181 - 220m30

VERWEERD maar groen gekleurd tijdens het krijt	181 - 187
verweerd en gerubefieerd	181 - 208
niet verkleurd	208 - 219.



Technische doorsnede van de pompput (geboord in 1967).

MDN  
PLAAT DEINZE 69E

BELGISCHE GEOLOGISCHE DIENST

402  
N° (I/d)

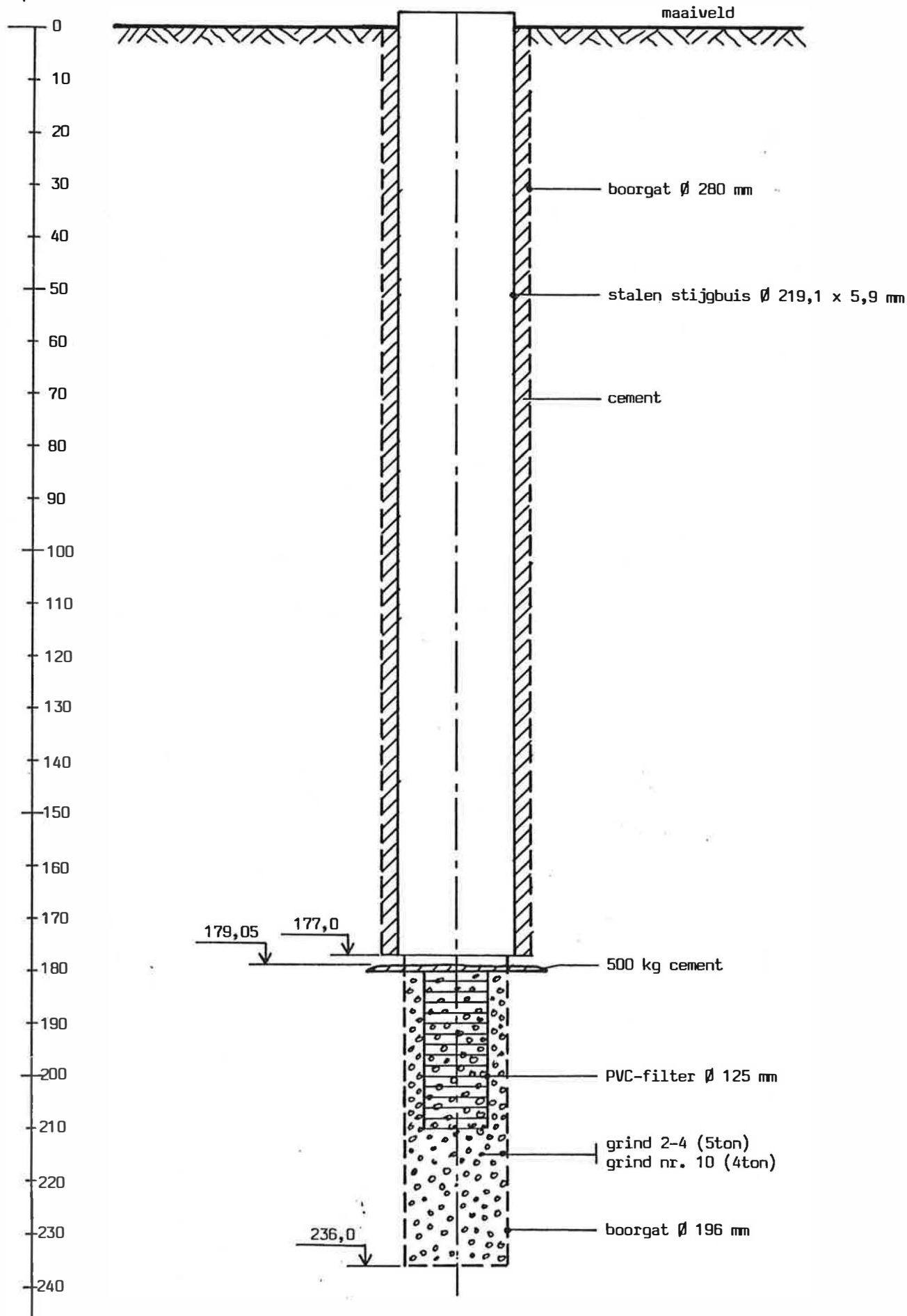
FILTERPUT  
uitgevoerd te : DEINZE  
bij : N.V. WEVERIJEN DECLERCQ  
door : N.V. SMET DESSEL  
datum : NOVEMBER 1978  
Topografische ligging opgetekend : VOLGENS PLAN 1/10.000  
Grondstalen verzameld door : DE BOORMEESTER  
Boringsmethode : INSPOELING  
filterlengte : 30.45 Ø 125  
grondwaterstanden : bij ruststand : 57 m  
tijdens het pompen : 97 m  
met een debiet van 19.000 l/u  
Hoogte van het maaiveld : + 10.50 m  
Totale diepte : 236 m

Aard der grondlagen	Diepte m
---------------------	----------

Beschrijving volgens boormeester

geel zand	6.50
licht geel zand	12.50
grijs vet zand	22.00
grijze klei	124.00
grijs vet zand	153.00
zeer harde blauwe klei	169.50
wit krijt	179.50
Kiezel + grof grijs zand	179.50
bruine verweerde steen met veel kiezel en zachte laagjes bruine mergel	236.00

diepte in m



Technische doorsnede van de peilput 1 (geboord in 1978).

N° 404 (I, d)

Filterput

Uitgevoerd te : Deinze

Bij : N.V. Weverijen Declercq

Door : N.V. SMET-Dessel

Datum : 2/11/83

Topografische ligging opgetekend volgens plan op schaal 1/10.000

Geen grondstalen verzameld

Boringsmethode : inspoeling

Opeenvolgende doormeters : stijgbuis 174 m Ø 273 mm

filterlengte : 12,70 m Ø 219 mm

Grondwaterstanden : bij ruststand : 81,50 m

Tijdens het pompen : 92,70 m met een debiet van 20.000 l/u

Grondwaterregister nr. : 2982/2

Hoogte van het maaiveld : +11 m

Totale diepte : 185,75 m

---

Aard der grondlagen

Diepte m

---

Beschrijving volgens boormeester

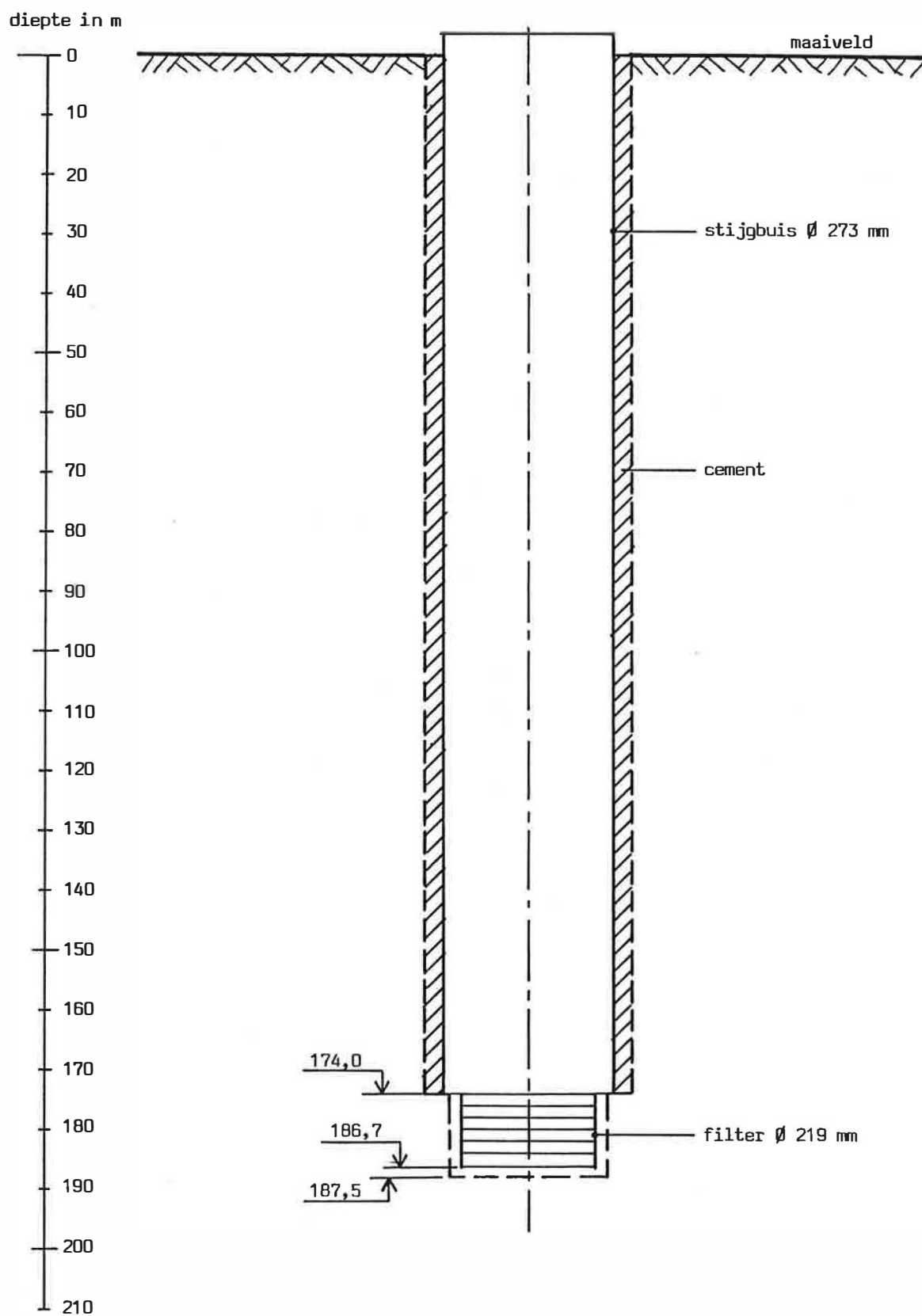
---

Aangevuld	1.00
Geel zand	6.00
Licht geel zand	12.50
Grijs vet zand	22.00
Grijze klei	124.00
Grijs vet zand	153.00
Zeer harde blauwe klei	169.50
Wit krijt	179.50
Kiezel + grof grijs zand	180.00
Klei grijs met sprit en kiezel	187.50

Interpretatie :

Kwartair	0.00 - 22.00 m
Formatie van Ieper-Klei van Vl.	11.00 - 124.00 m
Formatie van Landen Lld	124.00 - 153.00 m
Llc/b	153.00 - 169.50 m
Krijt	169.50 - 179.50 m
Paleozoïcum	179.50 - 185.75 m

P. LAGA  
29.04.1985



Technische doorsnede van de peilput 2 (geboord in 1983).

## REFERENTIES

- COOPER, H.H. and C.E. JACOB (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Am. Geophys. Union Trans., vol. 27 : 526-534.
- HANTUSH, M.S. (1966). Analysis of data from pumping tests in anisotropic aquifers. Journ. Geophys. Res., vol. 71 : 1709-1720.
- HANTUSH, M.S. and C.E. JACOB (1955). Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer. Am. Geophys. Union Trans., vol. 36 : 95-100.
- KRUSEMAN, G.P. and N.A. DE RIDDER (1976). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Intern. Inst. Land Recl. and Improv./ILRI, bull. 11 : 200.
- LEGRAND, R. (1968). Le Massif du Brabant. Toelicht. Verh. Geol. Kaart en Mijnskaart Belg. 9, 148 p.
- THEIS, C.V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Am. Geophys. Union Trans., vol. 16 : 519-524.